ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME VII JUILLET 1948 NUMÉRO 27

Le symbolisme et la science

Nous publions dans le présent numéro un article de Mr D. I. Duveen sur les symboles employés par les alchimistes. Ce sujet peut attirer notre attention sur le thème plus vaste du rôle général des symboles et du symbolisme en sciences. Il est bon de rappeler qu'à l'origine le mot symbole signifiait croyance ou confession de foi, car c'est, en fait, aujourd'hui, le sens de bien des symboles scientifiques. Lorsque nous disons, par exemple, que la force de la pesanteur entre deux masses m_1 et m_2 séparées par une distance a est égale à $k \cdot (m_1 \cdot m_2)/a^2$, nous exprimons l'opinion de l'homme de science que deux masses quelconques se comporteraient de cette façon.

L'usage des symboles en science remonte à la plus haute antiquité, et l'on sait qu'il acquit très vite un caractère fallacieux. On trouve ainsi sur une tablette babylonienne du XVIIème siècle av. J.C., ayant trait à la préparation d'un émail au plomb coloré au cuivre, l'idéogramme sumérien correspondant à « aigle ». Ce signe a le sens sémitique de *erû*, qui signifie cuivre, et c'est évidemment celui dans lequel le lecteur initié doit l'interpréter. Les symboles découlent aussi de ressemblances de forme, de couleur, et autres propriétés, comme par exemple, le cercle du soleil pour symboliser l'or et le croissant de la lune pour l'argent. Un autre origine des symboles réside dans l'emploi de contractions dont beaucoup deviennent finalement de simples signes conventionnels. Enfin, il y a les nombreux symboles scientifiques ou pseudo-scientifiques de la science à ses débuts qui doivent leur origine à des croyances ou à des pratiques religieuses, philosophiques ou magiques, ou au folklore.

A l'origine, les connaissances scientifiques ou techniques étaient l'apanage d'un nombre relativement restreint et en avaient d'autant plus de valeur. L'un des buts principaux du symbolisme était de dissimuler au profane les connaissances professionnelles. Avant de pouvoir déchiffrer les ouvrages techniques, il fallait que l'étudiant apprenne tout un langage de symboles et, sans aucun doute, au cours de cette étude ses professeurs pouvaient juger de ses aptitudes pour un certain art ou une profession particulière.

Toutefois, le symbolisme avait un autre aspect. Sous l'influence gnostique en particulier, on avait attaché une force mystique aux mots, aux lettres et aux signes qui devinrent ainsi plus que de simples modes de représentation et auxquels on attribua des fonctions opérationnelles actives. Cette croyance conduisit à l'habitude très répandue du port d'amulettes, de talismans et de pierres précieuses gravées — tels les abraxas de Basilide (IIème siècle après J.C.), dans lesquels était gravé le nombre de jours dans l'année, représentant les 365 ordres de l'esprit émanant successivement de l'Etre Suprême. Des talismans gnostiques tels que ceux-ci et d'autres du même genre furent en usage dans toutes les parties de l'ancien monde — même en Grande-Bretagne, puisqu'un spécimen en fut trouvé en 1827 dans des fouilles près de l'emplacement du fort romain de Segontium dans le nord du Pays de Galles.

Le symbolisme trouva un nouveau champ d'application dans la doctrine des signatures qui enseignait que les caractères extérieurs des plantes indiquaient les maladies auxquelles la Nature les destinait à servir de remède. Un naturaliste du XVIIème siècle écrivait: « Le péché et Satan ont plongé l'humanité dans un océan d'infirmités et cependant, la bonté de Dieu, qui s'étend sur toutes ses œuvres, fait pousser l'herbe sur les montagnes et les simples pour l'usage de l'homme et il ne leur a pas seulement imprimé une forme spéciale, mais il leur a aussi donné des signes particuliers, grâce auxquels l'homme peut lire en caractères clairs leur application. » John Ray lui-même, qui exprima un certain scepticisme

pour cette doctrine, professait que « beaucoup des plantes nocives et vénéneuses laissaient deviner quelque chose de leur nature par la triste et mélancolique apparence de leurs feuilles, de leurs fleurs ou de leurs fruits. » La conception derrière la théorie des signatures était la croyance obstinée et vivace à une relation réelle entre l'objet et l'image, croyance universellement répandue jusqu'au développement de la science moderne et qui n'est pas, à l'heure actuelle, sans ses adhérents superstitieux.

Nous ne croyons plus que les empreintes sigillaires sur les rhizomes du Sceau de Salomon (*Polygonatum multiflorum*) indiquent que la plante peut être employée à la guérison de « toute contusion, tous bleus ou noirs, causés par des chutes ou par la bonne volonté des femmes à se précipiter sur les poings de leurs maris emportés » — nous laissons de telles fables dans l'obscurité qu'elles méritent. Et cependant, il se peut qu'en même temps un sentiment un peu malaisé se fasse jour: ne sommes-nous pas inclinés nous-mêmes à attacher trop d'importance en science à des signes et à des symboles et à penser que lorsque nous avons trouvé une formule nous avons expliqué un phénomène ?

C'est un sentiment auquel il est bon de porter attention malgré que l'objet principal du symbolisme en science soit évidemment de fournir un renseignement plutôt que de voiler les faits et d'être précis plutôt que vague. Prenons la formule chimique $CH_3.COOH$. Pour un chimiste elle représente un résumé de la façon de se comporter chimiquement de l'acide acétique: entre autres choses il y voit que la molécule d'acide acétique est soixante fois plus pesante qu'un-seizième d'atome d'oxygène, que l'acide est un produit d'oxydation de l'acétaldéhyde, qu'il possède un atome d'hydrogène remplaçable par un métal et trois atomes d'hydrogène remplaçables par le chlore, qu'il a une saveur acide, un point d'ébullition relativement bas et qu'il est miscible avec l'eau. On trouve naturellement le même genre de renseignements concentrés dans toute autre formule chimique, ce qui constitue de nos jours un facteur essentiel de l'avance de la chimie pure et appliquée. Il faut néanmoins se rappeler qu'une formule chimique, comme la plupart des formules employées en science, ne donne que des informations choisies, et qu'une confiance trop complaisante dans le symbolisme peut entraîner à de l'anémie cérébrale.

La tendance à cette satisfaction non justifiée dont font preuve les hommes de science inexpérimentés est particulièrement marquée lorsqu'il s'agit d'un phénomène pouvant être décrit par une formule mathématique élégante, car, malgré de nombreuses preuves du contraire, ils sont portés à croire que, parmi plusieurs explications possibles, la plus simple doit nécessairement être la bonne. Mais, en science tout au moins, les expressions mathématiques ont le même caractère fondamental que les autres signes et symboles; c'est-à-dire qu'ils constituent des définitions concises mais n'ont guère de valeur au-delà. A mesure que l'observation s'accroît et que l'expérimentation s'étend, la possibilité d'une description de plus en plus précise se développe: la théorie de Newton est sous-entendue dans celle d'Einstein et l'histoire de la science ne nous donne aucune raison de supposer qu'Einstein ait dit le dernier mot. Les mathématiques sont pour la science un symbolisme purifié, mais un symbolisme malgré tout; les faits qu'elles symbolisent et mettent en corrélation sont les produits du laboratoire. Et puisque les mathématiques constituent la forme descriptive la plus précise, c'est à la recherche de l'expression mathématique que la science devrait s'acharner. Selon les paroles de Sir d'Arcy Wentworth Thompson: « Il n'est pas que le mouvement des astres dans le ciel qui doive être déterminé par l'observation et élucidé par les mathématiques, mais encore tout ce qui peut être exprimé en nombres et défini par une loi naturelle. C'est ce que nous enseignent Platon et Pythagore, et c'est le message de la sagesse grecque à l'humanité. Ainsi les vivants et les morts, les êtres animés et les choses inanimées, nous tous, habitants de ce monde, et ce monde lui-même où nous vivons—Πάντα γα μὰν τὰ γιγνωσκόμενα—sommes également liés par les lois physiques et mathématiques. »

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, London, S.W.1

Propriétés chimiques et structure des pénicillines

E. CHAIN

En dépit des difficultés provenant, d'une part de son instabilité et, de l'autre, de la quantité infime de matière dont on disposait à l'origine, la pénicilline (une découverte britannique) a été étudiée plus activement par les chimistes que n'importe quel autre produit organique. Ces recherches ont ouvert des voies entièrement nouvelles en chimie des composés hétérocycliques.

HISTORIQUE

Dans son premier rapport sur la pénicilline, Fleming [1] attira l'attention sur le fait qu'elle était une substance instable. Ce caractère a également été souligné par Clutterbuck, Lovell et Raistrick [2], qui effectuèrent les premières recherches chimiques sur la pénicilline.

Clutterbuck, Lovell et Raistrick avaient montré que la pénicilline était un acide à poids moléculaire bas que l'on pouvait extraire en grande partie par l'éther d'un milieu de culture acidifié, mais que cet extrait perdait ses propriétés antibactériennes par évaporation du solvant. Les chercheurs d'Oxford [3, 4] montrèrent que l'activité antibactérienne pouvait être transférée sans perte de la solution éthérée à une solution aqueuse par addition d'alcali jusqu'à neutralisation exacte. La solution congelée contenant le sel de pénicilline pouvait être évaporée à sec dans le vide sans perdre de son activité. Les préparations sèches ainsi obtenues étaient des poudres hygroscopiques brunes qui gardaient longtemps leurs propriétés antibactériennes si on les conservait à sec. On a montré que ces préparations possédaient le pouvoir remarquable de protéger les souris contre des infections dues au streptocoque, au staphylocoque et au bacille vibrioseptique qui, autrement, eussent été fatales. On démontra plus tard, avec des préparations plus pures, que la pénicilline était aussi extrêmement active dans la lutte contre beaucoup des maladies les plus dangereuses de l'homme [4].[1]

Après la découverte de la remarquable valeur chimique de la pénicilline comme agent thérapeutique contre les maladies contagieuses, la détermination de sa structure devint une question pressante et d'importance primordiale.

[1] Pour une revue des premiers travaux sur la pénicilline voir aussi [6].

Vers la fin de 1942 le Dr Wilson Baker (maintenant professeur de chimie organique à l'Université de Bristol) et Sir Robert Robinson, se joignirent au Dr Chain et au Dr Abraham pour poursuivre les recherches chimiques sur la pénicilline. Cette équipe d'hommes de science a effectué toutes les recherches relatives à la dégradation de la pénicilline faites à Oxford. Le Dr J. J. Cornforth et, plus tard, plusieurs membres du Dyson Perrins Laboratory, se joignirent à la première équipe pour des études de synthèse. Le Dr E. R. Holiday, du London Hospital, qui travaillait à la Section de Chimie biologique à Oxford, collabora aux mesures d'absorption ultraviolette et les docteurs H. W. Thompson et R. E. Richards aux recherches sur le spectre infrarouge.

La pénurie de matière première constituait le principal obstacle aux recherches sur la dégradation de la pénicilline qui se poursuivaient à Oxford. La quantité totale de pénicilline à la disposition des chercheurs d'Oxford était d'environ 1,5–2 g exprimée en matière pure, dont quelques centaines de milligrammes seulement sous forme de matière très pure, tandis que le reste des travaux était effectué sur de la matière ne présentant qu'un degré de pureté de 50 à 60%. Dans ces conditions, la collaboration de Mme Dorothy Hodgkin et de Mme B. Rogers-Low, toutes deux de la Section de Cristallographie d'Oxford, et celle du Dr C. W. Bunn et d'autres membres du laboratoire de Imperial Chemical Industries à Winnington, fut tout particulièrement utile. Grâce à l'étude cristallographique aux rayons X des produits de décomposition de la pénicilline, on obtint des données numériques physico-chimiques qui ont permis leur identification même en très faibles quantités. L'étude cristallographique aux rayons X de cristaux

uniques de sels de sodium, de rubidium et de potassium de la pénicilline a joué un rôle important dans la détermination finale de la structure de la molécule de pénicilline, permettant de décider entre diverses formules possibles.

En Angleterre, d'autres groupes de chimistes tant universitaires qu'industriels, commencèrent à s'intéresser à l'étude de la pénicilline du point de vue chimique. A l'Imperial College of Science de Londres un groupe sous la direction de Dr A. H. Cook et du Professeur Sir Ian Heilbron, et d'autres groupes aux Laboratoires Glaxo, Burroughs Wellcome Ltd. et Imperial Chemical (Pharmaceuticals) Ltd., entreprirent des recherches. Plus tard, les groupes suivants y participèrent également: Section de Chimie de l'Université de Manchester; Sections de Chimie et de Science des colloïdes de l'Université de Cambridge; National Institute for Medical Research, de Hampstead; British Drug Houses Ltd.; Boots Pure Drug Company Ltd.; May and Baker Ltd.; et Imperial Chemical Industries (Alkali Division) Ltd.

Simultanément les chimistes américains commencèrent des recherches sur la structure de la pénicilline et effectuèrent ces travaux sur une très grande échelle. Les laboratoires universitaires, gouvernementaux et industriels cités ci-dessous y collaborèrent: Cornell University Medical College, Department of Biochemistry et Russel Sage Institute; Federal Security Agency, Food and Drug Administrations; Université Harvard, Section de Chimie; Université d'Illinois, Section de Chimie; Université de Michigan, Sections de Chimie et de Physique; National Bureau of Standards; Northern Regional Research Laboratory du Ministère de l'Agriculture des E.-U.; Rockefeller Institute for Medical Research, de Princeton; Abbott Laboratories; Cutter Laboratories; Heyden Chemical Corporation; Eli Lilley & Co.; Merck & Co. Inc.; Parke, Davis & Co.; Chas. Pfizer & Co. Inc.; Shell Development Company; Squibb Institute for Medical Research; the Upjohn Company; et Winthrop Chemical Company Ltd.

En 1943 les gouvernements de Grande-Bretagne et des Etats-Unis imposèrent des mesures de sécurité pour toutes les informations relatives aux recherches chimiques sur la pénicilline. Ces mesures restèrent en vigueur jusqu'à la fin de 1945. Peu après leur introduction les chimistes britanniques s'occupant de recherches sur la pénicilline formèrent un comité de représentants des divers groupes dans le but d'échanger les renseignements obtenus. Des rapports datés, désignés sous le nom de série « PEN », étaient envoyés au secrétariat de ce comité et équivalaient aux mémoires qui auraient normalement été envoyés aux journaux scientifiques. La majeure partie des travaux britanniques relatifs à la dégradation de la pénicilline furent effectués entre mai et octobre 1943 et se trouvent réunis dans les rapports «PEN».

Au début, les recherches américaines et britanniques furent effectuées indépendamment. Après l'institution de l'interdiction de publier des recherches ayant trait à la chimie de la pénicilline, le Medical Research Council en Grande-Bretagne et le Office of Scientific Research and Development aux Etats-Unis entamèrent des négociations pour l'établissement d'un échange d'informations régulier entre les groupes de chimistes des deux nations. Un accord fut conclu au début de 1944. Le Medical Research Council fonda le *Committee for Penicillin Synthesis*, qui prit la place du comité non-officiel mentionné ci-dessus et auquel, à partir de ce moment, les savants britanniques envoyèrent leurs mémoires. Ceux-ci furent désignés sous le nom de rapports « CPS ». Les savants américains, de même, envoyaient des compte-rendus mensuels à l'Office of Scientific Research and Development. Les compte-rendus des deux nations étaient distribués aux chercheurs accrédités sur la question de la chimie de la pénicilline.

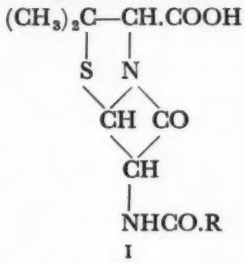
On peut apprécier l'importance du travail fourni en combinaison par les anglais et les américains si l'on considère que près de 700 rapports furent reçus par les organisations gouvernementales de coordination.

Ces rapports peuvent être consultés maintenant dans diverses bibliothèques de Grande-Bretagne et des Etats-Unis. Un compendium de ces rapports, sous la forme d'une monographie anglo-américaine complète, est en cours de publication par la Princeton University Press, sous les auspices de l'Académie nationale des Sciences de Washington, D.C. On trouvera au cours des pages suivantes un bref compte-rendu des principaux résultats fournis par les travaux anglo-américains sur la structure de la molécule de pénicilline. Un compte-rendu plus détaillé est en cours de publication [7].

MULTIPLICITÉ DES PÉNICILLINES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES

Il devint évident dès les débuts des recherches sur sa structure que la pénicilline n'était pas une

substance simple, mais qu'il existait un certain nombre de pénicillines douées de propriétés chimiques et biologiques très voisines, mais différant par leur composition chimique. On démontra que les pénicillines ont un noyau commun mais diffèrent par la nature de leurs chaînes latérales. La formule structurale de la molécule de pénicilline généralement acceptée maintenant est représentée ci-dessous (I):



I

Au début, les pénicillines étaient différenciées par des chiffres romains ou des lettres, mais éventuellement on adopta une nomenclature grâce à laquelle elles sont différenciées par des préfixes indiquant la nature de la chaîne latérale, comme, par exemple, benzylpénicilline, dans laquelle $R = C_6H_5CH_2$; heptylpénicilline, dans laquelle $R = C_7H_{15}$, et ainsi de suite. On trouvera dans le tableau I les noms et les formules empiriques de quelques pénicillines isolées de filtrats de cultures de moisissures.

Les pénicillines sont des acides monobasiques de *p*K 2,9 environ. La courbe d'électrotitrage n'indique la présence d'aucun groupement basique même si l'opération est effectuée dans l'acide acétique glacial, à l'aide de l'acide perchlorique. Cette absence de groupe basique, même d'un groupe basique très faible, dans la molécule de pénicilline a été d'une importance considérable dans les études sur la structure.

La benzyl- et la *p*-hydroxybenzyl-pénicilline présentent les caractères d'absorption dans l'ultra-violet du noyau benzénique, mais les pénicillines à chaînes latérales aliphatiques ne montrent aucune absorption ultra-violette caractéristique.

Sous forme d'acides libres les pénicillines sont solubles dans l'éther, le chloroforme, et les esters et peuvent être extraites de leurs solutions aqueuses acidifiées à l'aide de ces solvants (sauf la *p*-hydroxybenzylpénicilline, que l'on ne peut extraire par le chloroforme). Les pénicillines sont stables pendant plusieurs jours dans les solvants mentionnés ci-dessus, à des températures inférieures à 7° C. En solution aqueuse les pénicillines ne sont stables qu'à des *p*H situés entre 5 et 8, c'est-à-dire sous forme de sels. En solutions acides ou alcalines elles perdent rapidement leur activité biologique. Leurs sels alcalins cristallisent facilement. MacPhillamy et Wintersteiner les premiers obtinrent un sel de pénicilline à l'état cristallisé: en juillet 1943 ils réussirent à faire cristalliser le sel de sodium de la benzylpénicilline. En dehors des sels alcalins aucun autre sel métallique de la pénicilline n'a pu être obtenu à l'état cristallisé, mais on a préparé plusieurs sels cristallins à cations organiques par combinaison directe des bases avec les acides libres des pénicillines au sein de solvants organiques (par exemple les sels de triéthylamine, de N-éthylpipéridine et de procaïne). Dans ces conditions les sels précipitent de leurs solutions. L'inactivation des pénicillines en solutions acides ou alcalines est accompagnée par un changement de leur solubilité et de leurs propriétés acides-bases. Leurs produits d'inactivation sont des *Zwitter-ions* possédant deux groupes acides et un groupe basique et qui sont insolubles dans les solvants organiques. On a pu isoler les deux à l'état cristallisé. Les titrages électrométriques montrent que les produits de l'inactivation acide sont différents de ceux de l'inactivation alcaline. On a appelé les premiers acides pénilliques; ils sont isomères des pénicillines, présentant un groupe basique et un *p*K de 7,6. Les seconds sont désignés sous le nom d'acides penicilloïques; ils possèdent un groupe basique avec un *p*K de 5; ce sont des produits d'hydrolyse des pénicillines contenant une molécule d'eau additionnelle. Ces deux séries de produits de décomposition ont joué un rôle

TABLEAU I

Nom de la pénicilline	*Formule de la chaîne latérale*	*Formule empirique*
Δ^2-Penténylpénicilline	$CH_3.CH_2.CH{=}CH.CH_2$—	$C_{14}H_{20}O_4N_2S$
Δ^3-Penténylpénicilline	$CH_3.CH{=}CH.CH_2.CH_2$—	$C_{14}H_{20}O_4N_2S$
n-Amylpénicilline	$CH_3.CH_2.CH_2.CH_2.CH_2$—	$C_{14}H_{22}O_4N_2S$
n-Heptylpénicilline	$CH_3.(CH_2)_5.CH_2$—	$C_{16}H_{26}O_4N_2S$
Benzylpénicilline	$C_6H_5.CH_2$—	$C_{16}H_{18}O_4N_2S$
p-Hydroxybenzylpénicilline	$HO.C_6H_4.CH_2$—	$C_{16}H_{18}O_5N_2S$

important dans la détermination de la structure générale de la molécule de pénicilline.

Beaucoup d'autres réactifs en dehors des acides et des alcalis détruisent l'activité biologique des pénicillines. Elles sont ainsi rendues inactives par divers ions métalliques dont le zinc, le cadmium, le plomb, le mercure et le cuivre; leur action est catalytique. Les pénicillines sont également rendues inactives par les alcools et les amines primaires, les réactifs cétoniques tels que l'hydrazine et l'hydroxylamine, un amino-acide: la cystéine, et une enzyme produite par plusieurs espèces bactériennes, la pénicillinase.

Les pénicillines sont stables vis-à-vis des agents réducteurs. Les penténylpénicillines réagissent facilement avec de l'hydrogène activé catalytiquement pour donner l'amylpénicilline.

Toutes les pénicillines sont stables vis-à-vis de l'iode en solution neutre mais sont rapidement détruites par le brome. Elles sont également détruites par des agents oxydants tels que l'eau oxygénée et le permanganate de potassium.

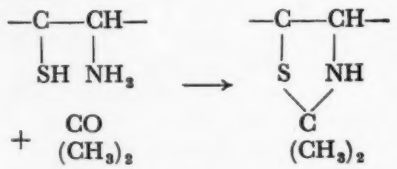
Le groupe carboxylique de la molécule de pénicilline peut être estérifié par des diazoalkanes et les esters méthyliques et éthyliques ont été obtenus à l'état cristallisé. L'ester méthylique de la benzylpénicilline n'a que des propriétés antibactériennes faibles *in vitro* mais présente *in vivo* une activité égale à celle des sels alcalins, probablement parce qu'elle est hydrolysée dans les tissus par une enzyme hydrolytique. On a trouvé dans des extraits de cobaye une estérase capable d'hydrolyser l'ester méthylique de la benzylpénicilline. Il n'a pas été possible d'hydrolyser par voie chimique les esters de pénicilline sans entraîner une perte sensible de leur activité, même dans les meilleures conditions.

LES TROIS CONSTITUANTS FONDAMENTAUX DE LA MOLÉCULE DE PÉNICILLINE

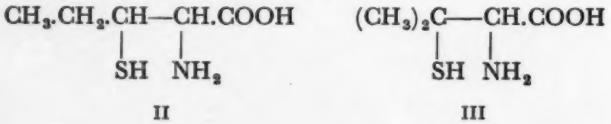
La molécule de pénicilline est constituée par trois groupements fondamentaux dans lesquels elle peut être scindée avec la participation de deux molécules d'eau. Ce sont: un thio-amino-acide, la β-thiovaline aussi appelée pénicillamine (et qui est un constituant commun à toutes les pénicillines); une amino-acétaldéhyde acylée appelée pénilloaldéhyde (et dont le groupe acyle est différent pour chaque pénicilline), et enfin, une molécule d'acide carbonique.

PÉNICILLAMINE

Cette substance est le premier produit de dégradation de la pénicilline qui ait été obtenu à l'état cristallin [5]. On peut la précipiter sous forme de son complexe avec le chlorure mercurique à partir d'hydrolysats acidifiés des pénicillines ou de solutions de pénicillines inactivées par des alcalis. Par décomposition du complexe chloro-mercurique par l'hydrogène sulfuré on obtient son chlorhydrate cristallisé. Sa formule moléculaire est $C_5H_{11}O_2NS$; c'est donc la partie qui contient l'atome de soufre. Elle donne des réactions fortement colorées pour le radical libre —SH avec le nitroprussiate de sodium ou le chlorure ferrique et son azote est présent sous forme α-aminée et peut être déterminé par la méthode de van Slyke. Par dissolution du chlorhydrate de pénicillamine dans l'acétone et évaporation à sec, on obtient un dérivé cristallisé ne présentant pas de radicaux —SH ou —NH_2 libres et dont la composition moléculaire est $C_8H_{15}O_2NS$. Par chauffage avec un acide dilué, on libère de l'acétone et le chlorhydrate de pénicillamine est régénéré. Ceci fait penser que les groupes —SH et —NH_2 de la pénicillamine sont voisins et réagissent avec l'acétone pour donner une thiazolidine:



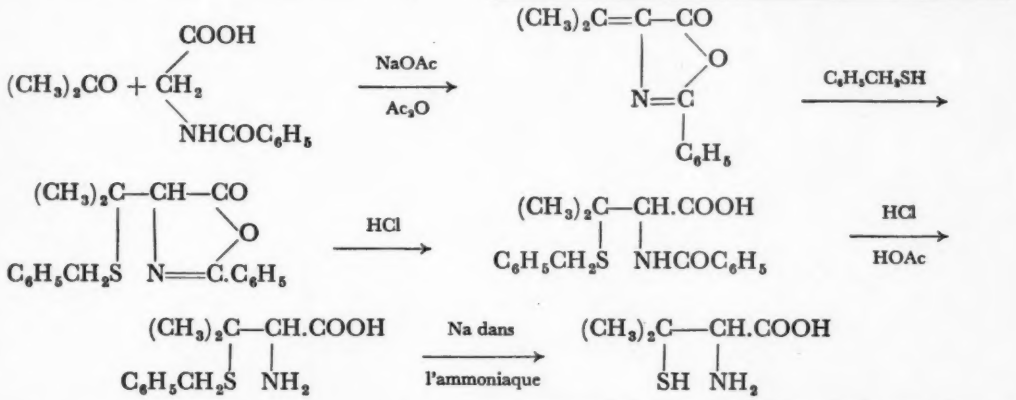
Par oxydation à l'eau de brome, le chlorhydrate de pénicillamine est transformé en amino-acide cristallisé de formule moléculaire $C_5H_{11}O_5NS$, qui est l'acide sulfonique correspondant. La courbe de titrage électrométrique a montré trois points titrables avec des valeurs de *p*K de 1,8, 7,9 et 10,4, correspondant respectivement aux groupes carboxyle, amino et thiol. Des deux formes isomères (II et III) possibles pour la pénicillamine, II paraît improbable parce que les déterminations du groupe C-méthyle par la méthode de Kuhn et Roth fournit des valeurs de l'ordre d'une fraction de molécule. Ces résultats sont en accord avec la structure III qui contient un groupe *gem*-diméthyle:



II III

La synthèse a prouvé l'exactitude de la formule

III pour la pénicillamine. La première synthèse de la *dl*-pénicillamine fut effectuée à Oxford (Abraham, Baker, Chain, Cornforth et Robinson, 1943) par addition de benzyl-mercaptan à la 2-phényl-4-*iso*propylidène-oxazolone, en présence de méthoxyde de sodium, suivant la méthode de Carter, Stevens et Ney (1941) pour la préparation synthétique de la cisteïne méthylique. Le schéma suivant montre les étapes de la synthèse:



Par la suite, plusieurs autres méthodes de synthèse de la *dl*-pénicillamine furent mises au point. Son dédoublement peut être effectué par fractionnement du sel de brucine de son dérivé N-formylique. La pénicillamine naturelle appartient aux séries *d*. Les premiers arguments en faveur de cette opinion étaient basés sur ses propriétés optiques ainsi que sur celles de son dérivé *iso*propylidénique et elle fut finalement confirmée par traitement de sa phényluréide par le nickel de Raney, qui conduit à la phényluréide de la *d*-valine (groupe Merck, octobre 1943). La pénicillamine constitue un nouvel exemple d'un amino-acide présentant la configuration *d* « anormale » que l'on rencontre dans les produits du métabolisme des micro-organismes.

La pénicillamine est un amino-acide nouveau qui n'a été rencontré jusqu'à présent dans aucune autre matière biologique. Il est plus soluble dans l'eau que la cystéine et son bisulfure résiste fortement à la réduction. Les pénicillamines *d* et *l* et leurs bisulfures ne sont pas attaqués par les enzymes des tissus animaux.

LES PÉNILLOALDÉHYDES

Tandis que la pénicillamine est un constituant commun à toutes les pénicillines, chaque pénicilline présente une pénilloaldéhyde différente. Les pénilloaldéhydes peuvent être obtenues sous forme de leur 2,4-dinitro-phénylhydrazones après hydrolyse des pénicillines par un acide dilué, à 100° C, puis précipitation de la pénicillamine par le chlorure mercurique. On les obtient également par décomposition à l'aide de chlorure mercurique des acides pénicilloïques, qui sont les produits de l'inactivation des pénicillines par les alcalis. La première pénilloaldéhyde isolée dérivait de la Δ^2-penténylpénicilline, préparée à partir des cultures superficielles sur lesquelles les chercheurs britanniques avaient fait leurs expériences. Sa structure fut établie comme suit (chercheurs d'Oxford, septembre–novembre 1943). L'analyse élémentaire du dérivé dimédonique et la détermination de son poids moléculaire par des mesures cristallographiques aux rayons X donnèrent comme formule moléculaire pour la pénilloaldéhyde $C_8H_{13}O_2N$. L'oxydation à l'oxyde d'argent donne l'acide $C_8H_{13}O_3N$. Après hydrolyse avec de l'acide chlorhydrique à 10% ou par la soude on trouve une grande partie de l'azote de cet acide sous forme α-aminée, que l'on décèle par la réaction de van Slyke. D'où la conclusion que la molécule contient une liaison peptidique. Pendant ce temps, les chimistes américains avaient isolé sous forme cristallisée le sel sodique de la pénicilline sur laquelle ils avaient effectué leurs travaux et avaient établi sa formule moléculaire comme étant $C_{16}H_{18}O_4N_2S$. Par hydrolyse acide la pénicilline américaine, comme l'anglaise, donnait de la pénicillamine. On trouva que l'on pouvait isoler des hydrolysats acides de la pénicilline américaine de l'acide phénylacétique. Cette substance, facile à identifier, n'a jamais pu être détectée parmi les produits de décomposition hydrolytique de la pénicilline britannique, ce qui établit de façon concluante que les deux produits étaient chimiquement

différents. Les deux pénicillines donnant de la pénicillamine, la différence devait être localisée dans la partie pénilloaldéhyde de la molécule. En se basant sur sa formule moléculaire, on put supposer que la pénicilline américaine donnerait une pénilloaldéhyde de formule $C_{10}H_{11}O_2N$ qui, par oxydation à l'oxyde d'argent, produirait un acide $C_{10}H_{11}O_3N$. En supposant que cet acide contenait de l'acide phénylacétique et une liaison peptidique, sa structure ne pouvait être que celle de la phénylacétylglycine et la structure de la pénilloaldéhyde correspondante, celle de la phénylacétylaminoacétaldéhyde. Ceci admis, on en déduisit que l'acide dérivé de la pénilloaldéhyde britannique avait la structure d'une hexénoylaminoacétaldéhyde. Ceci fut vérifié lorsque l'on put isoler des hydrolysats acides de l'acide $C_1H_{13}O_3N$ de la glycine (sous forme de son dérivé naphtènesulfonylique); on ne put en obtenir que quelques milligrammes mais la substance fut identifiée par mesures cristallographiques aux rayons X.

On établit la structure de l'acide hexénoïque de la pénilloaldéhyde britannique de la façon suivante. L'isolement d'acide caproïque, sous forme de *p*-bromo-phényl-phénacylate, des produits d'hydrolyse acide de la pénicilline britannique réduite par catalyse, montrait qu'elle présentait une chaîne carbonée droite (groupe de l'Imperial College, octobre 1943). L'oxydation au permanganate à froid fournissant de la propionaldéhyde permit de localiser la double liaison en β-γ. La structure de la pénilloaldéhyde britannique était donc celle de la β-γ-penténylaminoacétaldéhyde. On obtint son acétal par synthèse à partir d'amino-acétal et de chlorure β-γ-hexénoylique. Il donne une 2,4-dinitrophénylhydrazone identique à celle obtenue à partir de la pénicilline britannique. L'acétal de la pénilloaldéhyde américaine fut obtenu par synthèse d'une façon identique à partir de chlorure phénylacétylique et d'amino-acétal.

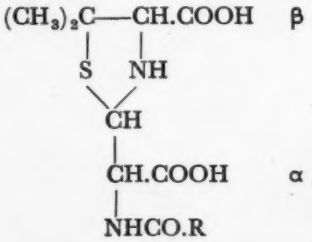
Plus tard, d'autres pénilloaldéhydes furent isolées des pénicillines naturelles comme, par exemple, la *p*-hydroxyphénylacétylaminoacétaldéhyde, de la *p*-hydroxybenzylpénicilline (pénicilline X) et la *n*-caprylylaminoacétaldéhyde, de la *n*-heptylpénicilline (pénicilline K).

LE GROUPE CARBOXYLE LABILE

Les pénicillines contiennent un groupe carboxyle libre et un autre combiné. Par chauffage peu prolongé en solution acide à 80–100° C on constate qu'il se produit une décarboxylation. On arrive au même résultat en traitant les produits d'inactivation par les alcalis par le chlorure mercurique. Par traitement de l'ester méthylique de la Δ^2-penténylpénicilline par le chlorure mercurique, il y eût décarboxylation et on put isoler des produits de réaction l'ester méthylique de la *d*-pénicillamine. Ceci prouvait que l'anhydride carbonique dérivait du groupe carboxyle combiné et non du carboxyle libre de la partie pénicillamine de la molécule de pénicilline (Groupe de I.C.I., 1944).

STRUCTURE DES PÉNICILLOATES

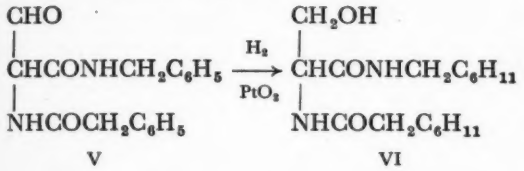
Les produits d'inactivation des pénicillines par les alcalis, désignés sous le nom de pénicilloates, peuvent être décomposés par le chlorure mercurique en pénicillamine, pénilloaldéhydes et acide carbonqiue. Ils ne contiennent ni groupe aminé ni groupe sulfhydryle libres et ne donnent aucun précipité avec la 2,4-dinitrophénylhydrazine avant l'addition de chlorure mercurique. On en conclut que la pénicillamine et la pénilloaldéhyde étaient liées dans un anneau thiazolidine de la molécule d'acide pénicilloïque. On avait déjà noté, vers les débuts des recherches, la tendance de la pénicillamine à se combiner facilement avec les aldéhydes ou les cétones pour former des thiazolidines (voir plus haut) et la scission par le chlorure mercurique est une réaction caractéristique des thiazolidines. La position qui parut la plus probable pour le groupe carboxyle labile qui apparaît sous forme d'acide carbonique après traitement des pénicilloates par le chlorure mercurique était en β par rapport au groupe aldéhyde latent de la pénilloaldéhyde. On décida, par conséquent, que les acides pénicilloïques étaient des thiazolidines de structure IV:



IV

On le prouva de la façon suivante. On avait trouvé que, par traitement de la pénicillamine américaine avec de la benzylamine, on obtenait une substance cristalline, biologiquement inactive, de composition $C_{30}H_{36}N_4O_4S.H_2O$ (Northern

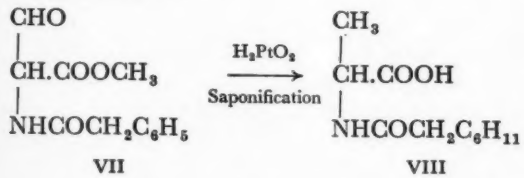
Regional Research Laboratory, 1943). Par décomposition de cette substance par le chlorure mercurique on obtenait le complexe chloromercurique de la pénicillamine et la solution surnageante contenait une 2,4-dinitrophénylhydrazone. La réduction catalytique avec l'oxyde de platine de l'aldéhyde correspondante qui fournit la cyclohexylamide de la N-cyclohexylacétylsérine (VI) prouva que sa structure était V (Groupe Merck, novembre 1943):



L'acide-aldéhyde CHO.CH.COOH qui n'est
|
NHCO.R

évidemment pas stable sous forme d'acide libre, peut être obtenu sous forme d'ester, d'amide ou autres dérivés, et a reçu le nom d'acide pénaldique et les divers acides pénaldiques dérivant des différentes pénicillines sont distingués de la même façon que les pénicillines, par des préfixes indiquant la nature du groupe R.

On a pu confirmer la structure des acides pénaldiques et des pénicilloates par dégradation du produit d'inactivation de la benzylpénicilline par l'alcool méthylique. Par décomposition par le chlorure mercurique on obtint l'ester méthylique d'un acide-aldéhyde que l'on put transformer, par hydrogénation catalytique, en N-cyclohexylacétylalanine (VIII) et qui, par conséquent, avait la structure VII:



Il était donc évident que les pénicilloates étaient des thiazolidines formées par la pénicillamine et des pénaldates. Dans les acides pénicilloïques on appelle carboxyle β celui qui appartient à la pénicillamine et carboxyle α celui de l'acide pénaldique. L'élucidation de la structure des acides pénicilloïques permit d'expliquer le mécanisme de certaines réactions d'inactivation des pénicillines. Comme on l'a déjà indiqué, l'action des amines primaires sur les pénicillines conduit à la formation d'α-monoamides et celle des alcools primaires, à la formation d'α-monoesters. Cette dernière réaction est catalysée par les ions métalliques, en particulier le cuivre, le zinc et l'étain, et peut être fortement retardée par addition de dimercaptopropanol (British Anti-Lewisite, BAL). En sa présence, les pénicillines sont stables dans les alcools primaires, à 37° C, pendant au moins 24 heures [8]. L'action sur les sels de pénicilline en solution aqueuse, d'ions métalliques tels que le cuivre, le zinc ou le cadmium, conduit aussi à la formation de pénicilloates. Il est ainsi possible d'effectuer une saponification graduée des diesters des pénicilloates.

On peut également les obtenir à partir des pénicillines sous l'influence de l'enzyme pénicillinase. L'action de l'hydrazine sur les pénicillines conduit à la formation d'α-hydrazides, celle de l'hydroxylamine à la formation d'acides α-hydroxamiques; la cystéine qui inactive les pénicillines en solution aqueuse neutre, réagit avec le groupe sulfhydryle (Groupe Squibb). Les α-hydrazides des pénicilloates se cyclisent facilement; la 4-phénylacétamino-5-pyrazolone se forme à partir de l'α-hydrazide de l'acide benzylpénicilloïque. L'action de l'acide acétique sur les acides libres des pénicillines conduit à la formation de N-acétylpénicilloates (Groupe Squibb, 1944). Les pénicilloates dérivés de la *d*-pénicillamine peuvent exister sous quatre formes stéréoisomères qui ont toutes été isolées (Groupe Merck, 1944). Leurs points de fusion et leurs indices de rotation sont très différents. On les désigne sous les noms de forme α, β, γ et δ. Les formes α, β et γ peuvent être isolées des benzylpénicilloates synthétiques mutagyrés. La forme δ est lévogyre et s'obtient par action du sulfate de cuivre sur la benzylpénicilline (Groupe Squibb, 1944).

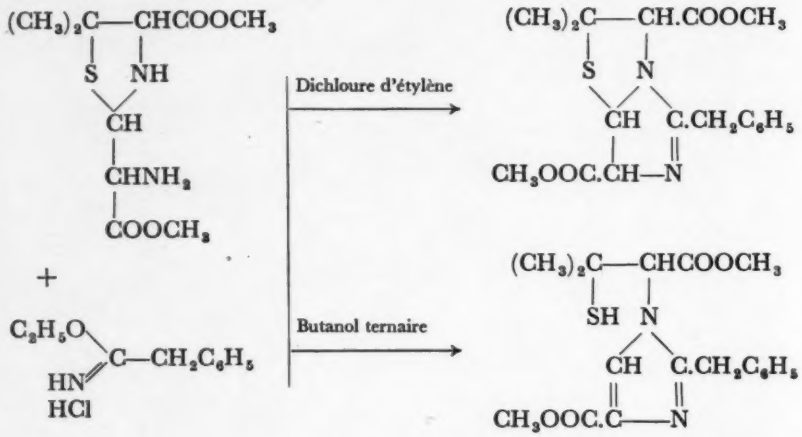
On réalise aisément la synthèse des pénicilloates par condensation de la pénicillamine ou de ses esters avec des pénaldates. De nombreux pénicilloates et leurs dérivés N-acylés ont été préparés par cette méthode.

STRUCTURE DES ACIDES PÉNILLIQUES ET DES PÉNILLAMINES

Les produits formés par inactivation des pénicillines en solution aqueuse, avec un *p*H acide, sont appelés acides pénilliques. Le premier acide pénillique isolé était dérivé de la Δ^2-penténylpénicilline obtenue à partir de cultures superficielles britanniques (Duffin et Smith, 1943). Les

acides pénilliques ont un pouvoir de cristallisation très marqué. Ils sont insolubles dans les solvants organiques et seulement légèrement solubles dans l'eau. Leur pouvoir rotatoire spécifique est plus élevé que celui des pénicillines et ils présentent une absorption caractéristique dans l'ultraviolet à environ 2.730 Å. L'analyse élémentaire montre qu'ils sont isomères des pénicillines. Par traitement au chlorure mercurique, ils sont décarboxylés et transformés en chlorhydrates de bases appelées pénillamines. Celles-ci sont des substances stables, résistant aux alcalis et acides chauds. Elles donnent la réaction colorée du groupe sulfhydryle libre, mais ne possèdent pas de groupe α-aminé. Le titrage électrométrique décèle trois centres de titrage, l'un correspondant à un groupe carboxyle, l'autre à un groupe basique et enfin, le dernier, au groupe sulfhydryle. L'oxydation par le brome conduit à la formation d'acide pénicillaminique et, par traitement avec la 2,4-dinitrophénylhydrazine, on obtient l'oxazone du glyoxal. Comme la disposition des atomes dans la partie pénilloaldéhyde est fixe, la seule structure possible pour les pénillamines qui corresponde aux faits cités plus haut, est la structure imidazole IX (Groupe de l'Imperial College, 1943). Aux acides pénilliques qui contiennent une molécule supplémentaire d'acide carbonique et pas de groupe sulfhydryle libre, on attribua la structure imidazolinique X (Groupe d'Oxford, 1943). Par traitement par les alcalis à froid ou par ébullition à reflux dans l'alcool méthylique les acides pénilliques sont isomérisés et l'on obtient les acides *iso*pénilliques. Ceux-ci contiennent un groupe sulfhydryle libre et on leur attribua la structure XI (Groupe d'Oxford, 1944):

L'acide benzylpénillique et l'acide benzyl*iso*pénillique ont été obtenus par synthèse comme le montrent les schémas suivants (Groupe Merck, 1944):



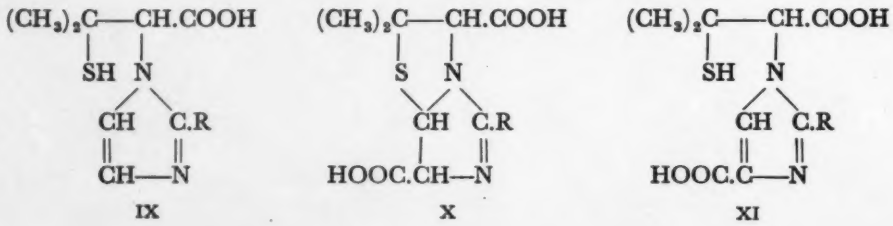
On a également effectué la synthèse des pénillamines par différentes méthodes.

FORMULES STRUCTURALES DE LA MOLÉCULE DE PÉNICILLINE

En imaginant des formules de structure pour la molécule de pénicilline, il fallait tenir compte des faits suivants:

1. Les pénicillines sont constituées par la pénicillamine, les pénilloaldéhydes et une molécule d'acide carbonique, avec élimination de deux molécules d'eau.
2. Les deux atomes d'azote doivent se trouver à l'état non-basique.
3. Les pénicillines sont isomérisées avec grande facilité en dérivés imidazoliniques.

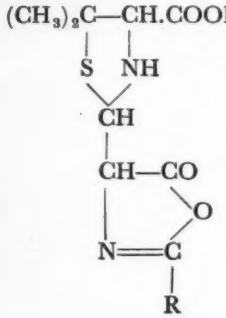
On peut imaginer de nombreuses formules pour la molécule de pénicilline en réunissant ses trois composants avec élimination de deux molécules d'eau. Beaucoup d'entre elles peuvent être rejetées parce qu'elles sont en contradiction évidente avec les propriétés physiques et chimiques de la pénicilline.



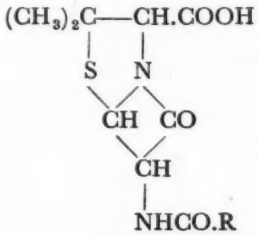
IX X XI

Si l'on considère que les acides pénicilloïques sont formés par hydrolyse directe des pénicillines sans l'intervention d'un regroupement intramoléculaire, on peut construire des formules des pénicillines par élimination d'une molécule d'eau des acides pénicilloïques.

Les premières formules suggérées furent la structure thiazolidine-oxazolonique XII et la structure β-lactamique I (Groupe d'Oxford, octobre 1943):



XII



I

La première qui contient un anneau actif oxazolonique semblait expliquer quelques-unes des réactions caractéristiques des pénicillines, comme celle avec les alcalis qui donne les pénicilloates, la réaction avec les alcools primaires et les amines qui donne des α-esters ou des α-amides des pénicilloates, et l'isomérisation aux acides pénilliques. La difficulté principale était le groupe imino du noyau thiazolidinique; on s'attendait à ce que celui-ci fasse preuve de propriétés basiques tandis qu'en fait les pénicillines n'ont pas de groupe basique. C'est pour parer à cette difficulté que la structure β-lactamique fut suggérée. Dans celle-ci les deux atomes d'azote sont présents sous forme de groupes non-basiques.

Indépendamment, le groupe Merck suggéra la structure thiazolidine-oxazolonique comme étant celle qui était le plus susceptible de représenter la molécule de pénicilline, mais ils mentionnaient également la structure β-lactamique comme étant une possibilité théorique. Au début de 1945 des faits difficiles à concilier avec la structure thiazolidine-oxazolonique avaient commencé à s'accumuler, mais ceux-ci s'accordaient avec la structure β-lactamique. Pour arriver à une décision concluante entre les deux structures on entreprit des recherches dans deux directions. D'une part, des composés types des différents systèmes cycliques supposés se trouver dans les deux structures, c'est-à-dire les thiazolidines, oxazolones et β-lactames, furent préparés synthétiquement et leurs propriétés comparées à celles des pénicillines. On entreprit d'autre part de nouvelles recherches de dégradation des pénicillines qui conduisirent à la préparation de plusieurs nouveaux produits de dégradation. On étudiera plus loin les résultats de ces deux lignes de recherches.

(*à suivre*)

BIBLIOGRAPHIE

[1] FLEMING, A. « On the Antibacterial Action of Cultures of a *Penicillium*, with Special Reference to their Use in the Isolation of *B. influenzae* », *Brit. J. Exp. Path.*, **10**, 226, 1929.

[2] CLUTTERBUCK, P. W., LOVELL, R., et RAISTRICK, H. « Studies on the Biochemistry of Micro-organisms. XXVI: The Formation from Glucose by Members of the *Penicillium chrysogenum* Series of a Pigment, an Alkali-soluble Protein and Penicillin—the Antibacterial Substance of Fleming », *Biochem. J.*, **26**, 1907, 1932.

[3] CHAIN, E., FLOREY, H. W., GARDNER, A. D., HEATLEY, N. G., JENNINGS, M. A., ORR-EWING, J., et SANDERS, A. G. « Penicillin as a Chemotherapeutic Agent », *Lancet*, **ii**, 177, 1941.

[4] ABRAHAM, E. P., CHAIN, E., FLETCHER, C. M., FLOREY, H. W., GARDNER, A. D., HEATLEY, N. G., et JENNINGS, M. A. « Further Observations on Penicillin », *Lancet*, **ii**, 177, 1941.

[5] ABRAHAM, E. P., BAKER, W., CHAIN, E., et ROBINSON, R. « Penicillamine, a Characteristic Degradation Product of Penicillin », *Nature*, **151**, 107, 1943.

[6] CHAIN, E., et FLOREY, H. W. « Penicillin », *Endeavour*, **3**, 3, 1944; « The Discovery of the Chemotherapeutic Properties of Penicillin », *British Medical Bulletin*, **2**, 5, 1944.

[7] CHAIN, E. « The Chemistry of the Penicillins », *Ann. Rev. Biochem.* (sous presse).

[8] CHAIN, E., et PHILPOT, F. J. « The Catalytic Effect of Metal Ions on the Alcoholysis of the Penicillins », *Arch. Biochem.* (sous presse).

Lazzaro Spallanzani, le fondateur de la physiologie expérimentale

E. TORTONESE

Les recherches biologiques se sont rapidement multipliées au XVIIIème siècle. Parmi les plus grands des savants responsables de ce développement se range Lazzaro Spallanzani, un homme de sciences italien qui, pendant trente ans, enseigna l'histoire naturelle à l'Université de Pavie. Il a constamment appliqué les méthodes expérimentales et ses nombreuses recherches ont fourni des résultats d'une grande valeur, en particulier dans les domaines de la physiologie et de la biologie générale.

Spallanzani naquit à Scandiano près de Modène, le 10 janvier 1729. A l'âge de 15 ans il fut envoyé au Collège Jésuite de Reggio; mais peu de temps après (1747) il se rendit à l'Université de Bologne pour y étudier le droit. C'est là que sa cousine, Laura Bassi, était professeur de physique; sous son influence, et guidé par elle, le jeune homme s'adonna entièrement aux études scientifiques pour lesquelles il ressentait un intérêt profond et sans cesse grandissant. Bientôt les livres de droit furent abandonnés et remplacés par les écrits de Vallisnieri (figure 1) et d'autres naturalistes qu'il étudia avec soin. Après avoir été ordonné prêtre, Spallanzani rentra à Reggio en 1755 pour enseigner la logique au collège. Il enseigna également la métaphysique et le grec; il avait une solide connaissance des langues classiques. Deux ans plus tard il fut nommé professeur de physique et de mathématiques à l'Université de Reggio. En 1763 il se rendit à Modène, où il enseigna les mathématiques et le grec au Collège S. Carlo, la physique et la philosophie à l'université.

Spallanzani a toutefois passé la plus grande partie de sa vie professorale à Pavie: il a, en effet, été professeur à l'université de cette ville de 1769 jusqu'à sa mort, qui survint le 12 février 1799. Son arrivée dans cette université fameuse, à laquelle la reine Marie-Thérèse avait fait une nouvelle dotation, marque le début des cours officiels de zoologie. A partir de 1775 les collections scientifiques, les livres et les instruments commencèrent à être classés méthodiquement.

Spallanzani a contribué au progrès de la science en entreprenant un nombre considérable d'expérimentations et d'études de premier ordre. Il s'est intéressé à une foule de sujets et il serait faux de ne voir en lui qu'un biologiste, car la physique, la géologie et la minéralogie ont aussi vivement retenu son attention. Toutefois son nom est plus particulièrement lié au développement de la physiologie expérimentale, dont on peut le considérer à juste titre comme le fondateur.

Dans l'antiquité et le moyen-âge on croyait fermement à la génération spontanée, autrement dit à la formation d'organismes à partir de substances inanimées, par exemple par l'action du soleil sur de la boue. Cependant, Francesco Redi d'Arezzo en Toscane (1626–96), un poète, médecin et naturaliste italien bien connu, avait montré que la génération spontanée d'insectes à partir d'animaux morts était un mythe; si la chair de l'animal était mise à l'abri de l'air il n'y apparaissait pas de vers ni de larves. Spallanzani se livra à d'autres expérimentations afin de prouver l'impossibilité de la génération spontanée (théorie définitivement rejetée par Pasteur au siècle suivant): il put démontrer que les animalcules ne se développent pas dans des infusions de légumes bouillies et conservées dans des récipients hermétiquement clos. Comme tous les autres organismes, les infusoires ne se développent qu'à partir d'individus préexistants de la même espèce. Ce sujet a été traité dans son ouvrage intitulé *Saggio di osservazioni microscopiche concernenti il sistema della generazione de' signori di Needham e Buffon* (Modène, 1765).

Il ressort très clairement de ces recherches que les processus de la reproduction des êtres animés présentaient un intérêt capital pour Spallanzani. Après s'être livré à une étude serrée de la question il put donner une explication partielle de certains d'entre eux. Dans son *Prodromo di un' opera da imprimersi sopra le riproduzioni animali* (Modène, 1768), qui a été très remarqué par les savants contemporains, il décrit le pouvoir reproducteur de certains animaux.

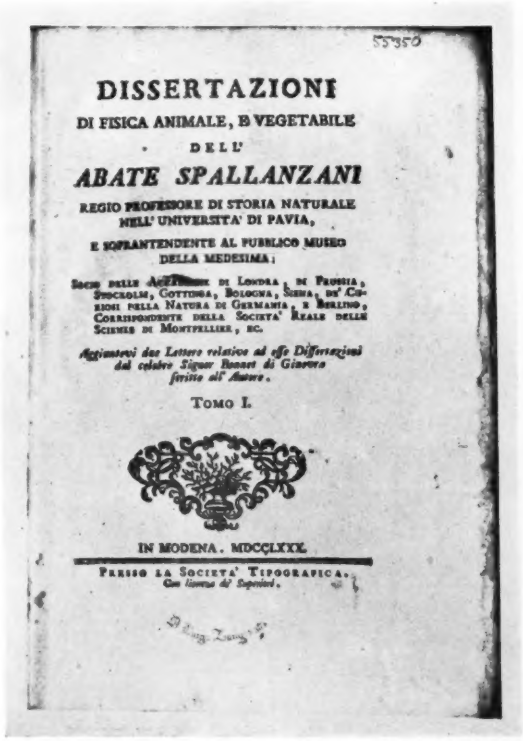
Quelques années plus tard (1777–82) il fit un certain nombre d'expériences classiques se

rapportant à la fécondation. Celle-ci avait été attribuée avant lui à une *aura seminalis* responsable du développement ultérieur des œufs. Cette théorie fantaisiste fut acceptée même après la découverte des spermatozoïdes au XVIIème siècle (les *animalcula seminalia* ont été observés pour la première fois par Hamm en Hollande (1677) et c'est Leeuwenhoek qui leur donna ce nom). Spallanzani a prouvé qu'il ne peut y avoir de fécondation que si le liquide séminal entre réellement en contact avec l'œuf; il réussit à fertiliser artificiellement non seulement des œufs de plusieurs amphibiens et du ver à soie mais les ovules d'une chienne. Les résultats de ses expériences sont décrits dans son *Prodromo della Nuova Enciclopedia Italiana* (Sienne, 1779). Toutefois il ne reconnut pas dans les spermatozoïdes l'élément fécondant lui-même et attribua cette fonction au médium liquide. Un peu plus de quarante ans après lui Prévost et Dumas (1824) prouvèrent que les œufs sont fécondés par les petites cellules (animalcules) qui se rencontrent dans le liquide séminal et que ce dernier est rendu inactif par la filtration.

Le livre (figure 2) intitulé *Dissertazioni di fisica animale e vegetabile* (Modène, 1780) assura à Spallanzani une gloire durable. Un premier volume a trait à la digestion; le deuxième se rapporte à la reproduction. Dans tous deux l'auteur critique et rectifie certaines conceptions courantes à cette époque. On sait que l'histoire de l'embryologie est caractérisée au XVIIIème siècle par une controverse entre ceux qui croyaient à la préformation des nouveaux individus dans le germe (préformistes) et ceux qui soutenaient que la formation des êtres organisés se complète après la fécondation (épigénistes). Alors que G. F. Wolff, le grand contemporain allemand de Spallanzani était un épigéniste, Spallanzani lui-même soutint fermement l'idée préformiste. Selon lui l'embryon est complètement formé dans l'œuf et « la présence des embryons dans les femelles avant la fécondation » serait l'une des lois les plus générales de la nature. Spallanzani a été fortifié dans cette opinion par une série d'expérimentations qu'il entreprit sur des amphibiens. Elles le convainquirent que les « œufs » de grenouilles ne sont pas des œufs du tout mais de minuscules têtards avec tous leurs organes préexistants et n'attendant qu'un développement ultérieur.

La reproduction des plantes s'est révélée comme un autre champ de recherches intéressant. Spallanzani y a consacré une centaine de pages environ du deuxième volume de ses *Dissertazioni*.

FIGURE 1 – *Antonio Vallisnieri, le grand naturaliste italien, en qui Spallanzani vit un exemple et un guide. Il est né à Modène en* 1661 *et mourut à Padoue en* 1730.



DISSERTAZIONI
DI FISICA ANIMALE, E VEGETABILE
DELL'
ABATE SPALLANZANI
REGIO PROFESSORE DI STORIA NATURALE
NELL' UNIVERSITA' DI PAVIA,
E SOPRANTENDENTE AL PUBBLICO MUSEO
DELLA MEDESIMA;
Socio delle Accademie di Londra, di Prussia, Stocholm, Gottinga, Bologna, Siena, de' Curiosi della Natura di Germania, e Berlino, Corrispondente della Società Reale delle Scienze di Montpellier, &c.
Aggiuntevi due Lettere relative ad esse Dissertazioni dal celebre Signor Bonnet di Ginevra scritte all' Autore.
TOMO I.
IN MODENA. MDCCLXXX.
Presso la Società Tipografica.
Con licenza de' Superiori.

FIGURE 2 – *Frontispice des* Dissertazioni *de Spallanzani* (*Modène*, 1780).

FIGURE 3 – *La cour intérieure de l'Université de Pavie avec, à gauche, la statue de Spallanzani.*

Il décrit ses observations recueillies sur différentes espèces (*Genista*, pois, concombre, chanvre, etc.) et, appliquant également le principe préformiste à ces organismes, il soutint que les semences existent avant la fertilisation et que le pollen constitue l'agent reproducteur pour certaines espèces de plantes mais que pour d'autres il est inutile.

Il ressort des six chapitres qui constituent le premier volume du livre cité plus haut que Spallanzani a interprété correctement le processus de la digestion qui a donné lieu à de nombreuses controverses. Galen et Paracelse l'ont tous deux considéré comme une « cuisson » réalisée par la chaleur de l'estomac, alors que pour Sylvius et van Helmont il se serait agi d'une fermentation. Le grand physicien et naturaliste français R. A. Ferchauld de Réaumur (1683–1757), fit avaler à des buses de petits tubes de verre perforés contenant de menus morceaux de viande; les perforations devaient permettre au suc gastrique de pénétrer dans les tubes. Puis il tua les buses, retira les tubes et examina les morceaux de viande qu'ils avaient contenus. L'aspect de cette viande indiquait clairement qu'elle avait été soumise à une action dissolvante. Il déduisit de cette expérience que la digestion se fait à l'aide d'une substance dissolvante et ne doit pas être attribuée à quelqu'action mécanique. Spallanzani accepta les vues de Réaumur et fournit une explication plus complète des effets des sucs digestifs. Il a prouvé de façon concluante que ces sucs sont les agents actifs de la digestion et que leurs effets sont plus ou moins rapides selon la nature des aliments ingérés. Il montra que les sucs digestifs ont des propriétés antiseptiques. Il affirma que le processus de la digestion diffère entièrement de celui de la fermentation et que le tractus digestif est capable dans certains cas d'exercer une action mécanique importante — comme cela se produit par exemple dans les gésiers des oiseaux.

Les grandes qualités de Spallanzani comme expérimentateur ressortent aussi de ses travaux sur la circulation du sang et sur la respiration. Il a été le premier à observer que, dans l'embryon de poulet, le sang passe des artères dans les veines à travers des vaisseaux très fins appelés capillaires. Il a écrit deux articles sur la circulation:

Dell' azione del cuore nei vasi sanguigni (Modène, 1768) et *Dei fenomeni della circolazione osservata nel giro universale dei vasi, ecc.* (Modène, 1773). Dans son étude sur le processus respiratoire il a prouvé que l'échange des gaz à travers la peau (respiration cutanée) joue un rôle important chez les amphibiens. Il a confirmé l'hypothèse de la respiration interne des tissus que le mathématicien Lagrange de Turin (1736–1813) avait émise. Il a donc été solidement établi qu'une combustion continue s'accomplit dans chaque organe et chaque tissu. Ces sujets sont discutés dans une étude posthume intitulée *Memorie sulla respirazione* (Milan, 1803).

Cette brève énumération des travaux de Spallanzani dans le seul domaine de la physiologie est loin d'être complète, car nous lui devons une foule d'autres découvertes importantes qui sont surtout d'ordre zoologique. Ses recherches bien connues sur les organes des sens des chauve-souris, auxquelles nous avons déjà fait allusion dans un article précédent (voir ENDEAVOUR, 1947, **6**, 36), sont caractéristiques. Après avoir aveuglé des chauve-souris il constata qu'elles étaient encore capables de voleter dans une chambre et d'éviter tous les obstacles, jusqu'à des fils de soie tendus sur leur passage. Il a étudié la zoologie des éponges, les propriétés électriques des raies (*Torpedo*), la reproduction des anguilles, le comportement singulier du bernard-l'hermite, la vie de certains animalcules aquatiques (rotifères, tardigrades), qui présentent la propriété de résister à une dessiccation même prolongée.

Spallanzani mérite donc une place importante dans l'histoire de la zoologie. A ce propos, rappelons-nous ses voyages, dont les compte-rendus ont été publiés en partie par lui-même et en partie après sa mort. Ses voyages ont beaucoup élargi le champ de ses observations et lui ont permis de présenter un grand nombre de spécimens au musée de l'Université de Pavie. Tant en Italie qu'à l'étranger il collectionna des animaux, de même que des minéraux et des roches, et il prit des notes se rapportant à la zoologie, la minéralogie et la physique. Il a également noté les particularités des populations de nombreux pays ainsi que leurs mœurs et leurs coutumes.

Il fit un voyage en Suisse (1779) et visita plusieurs contrées méditerranéennes (Ligurie, Adriatique, etc.) (1781–3) tout en recueillant d'intéressantes observations sur la biologie marine. En 1785 il se rendit à Constantinople en compagnie de l'Ambassadeur que la République de Venise y envoyait, puis il visita plusieurs régions de l'Asie Mineure, les Balkans et l'Allemagne. A Vienne il reçut de hautes distinctions honorifiques de l'Empereur. Ses impressions sont consignées dans son livre *Viaggio in Oriente* (Turin, 1788). Dans un autre livre intitulé *Viaggi in Sicilia ed alcune parti dell' Appennino* (Pavie, 1792–7) toutes les notes prises au cours d'une longue randonnée à travers la péninsule italienne et jusqu'en Sicile ont été rassemblées. Il a escaladé le Vésuve et l'Etna et visita attentivement les Champs Phlégréens près de Naples et les Colli Euganei près de Padoue. Ses mémoires ne se rapportent pas uniquement à la minéralogie et la géologie mais il y traite encore un bon nombre de sujets biologiques, tels que la phosphorescence des méduses; il décrit aussi diverses espèces d'oiseaux, les pêcheries d'anguilles de Comacchio, etc.

Les lecteurs des livres de Spallanzani découvrent en lui un très bon écrivain; son style est non

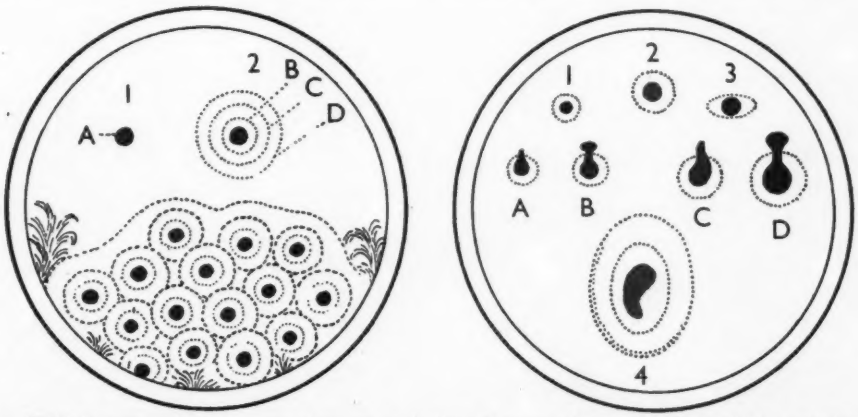


FIGURE 4 – *Œufs de grenouilles à leurs premiers stages de développement tels que Spallanzani les a représentés dans ses* Dissertazioni (1780.)

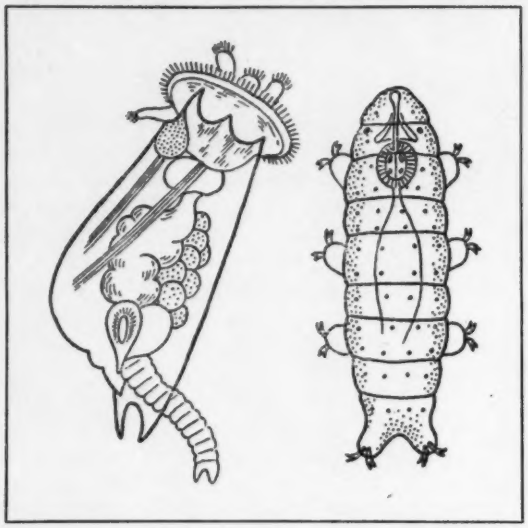


FIGURE 5 – *Animalcules dont Spallanzani a observé la résistance à la dessiccation: un rotifère* (brachionus) *à gauche et un tardigrade* (macrobiotus) *à droite. Le nom de tardigrade a été donné à ces organismes par Spallanzani en raison de le lenteur de leurs mouvements.*

seulement simple et clair mais encore élégant et convainquant, sans aucune emphase rhétorique. Spallanzani correspondait avec le naturaliste suisse Charles Bonnet, de Genève (1720–93), qui était un chercheur assidu dans le domaine des organismes vivants et qui découvrit la parthénogénèse des aphides ou pucerons. Bonnet appréciait beaucoup les travaux de son ami italien et partageait ses idées sur beaucoup de phénomènes scientifiques. Il disait de Spallanzani qu'à lui seul il avait découvert en peu d'années beaucoup plus que la plupart des Académies fameuses d'Europe n'auraient fait en un long espace de temps. Nous devons à Spallanzani la traduction des *Contemplations de la Nature* (Modène, 1769) de Bonnet, dont quelques chapitres sont inclus dans ses *Dissertazioni* en même temps que de la correspondance échangée entre les deux savants.

Spallanzani a été membre d'un grand nombre d'académies et de sociétés scientifiques, tant italiennes (Bologne, Sienne) qu'étrangères (Londres, Stockholm, Berlin, Montpellier). Il remplissait toutes ses tâches avec un zèle et une précision remarquables. Il n'a pas mené une vie de reclus dans son laboratoire mais aimait à disserter en public sur les résultats les plus notoires des recherches auxquelles il était en train de se livrer. Spallanzani n'a évidemment pas pu éviter la jalousie et les calomnies de ses contemporains, mais la qualité de son travail et la droiture de son caractère ont toujours été une réponse suffisante à toutes les critiques. Ni dans sa vie privée, ni dans sa vie publique, ni dans son travail scientifique il ne s'est laissé entraver par des préjudices ou par la tradition; il raisonnait toujours impartialement et avec franchise, étant convaincu que le savoir personnel est infiniment supérieur aux affirmations des autres gens, quelle que soit leur autorité. Spallanzani n'occupe pas une place éminente comme classificateur d'organismes ni au titre de premier explorateur d'une certaine faune; son intérêt principal résidait ailleurs et sa gloire bien méritée a été gagnée dans les domaines de la physiologie et de la biologie générale. Citons ici quelques-unes de ses propres paroles. A la fin du deuxième volume de ses *Dissertazioni* (p. 346) il nous rappelle que « le sens de l'observation et de l'expérimentation est préférable à l'art de classifier par noms si notre but est d'augmenter le trésor de nos connaissances dans les trois règnes ». Dans les pages qui précèdent cette conclusion il répète avec insistance que, quelle que soit la branche des sciences naturelles suivie par les chercheurs, ceux-ci ne doivent pas se borner à faire des efforts de mémoire pour apprendre par cœur des séries de noms, mais que c'est dans l'étude serrée des « objets » et des phénomènes de la nature qu'ils trouveront leur plus grande satisfaction.

Spallanzani peut être considéré à juste titre comme l'un des plus grands parmi les biologistes ayant entrepris des recherches dans de nouvelles voies et ayant ouvert de nouveaux horizons aux étudiants des choses vivantes. Plus de quarante ouvrages, souvent traduits en langues étrangères, et quelques manuscrits non publiés, lui ont survécu, témoignant de son immortel amour de la science et de l'énorme part qu'il prit à son développement.

BIBLIOGRAPHIE

CARUS, V. *Histoire de la Zoologie* (Paris, 1880).
DAMPIER, W. C. *A Shorter History of Science* (Cambridge, 1944).
Encyclopaedia Britannica, 1929, vol. 21, p. 147.
MONTALENTI, G. « *Lazzaro Spallanzani* », *Nuova Antol.* (Rome, 1929).
Idem. « Spallanzani, L. » *Encicl. Ital.*, 1936, vol. xxxii, p. 299.
SPALLANZANI, L. *Le Opere* (1932).

Le camouflage chez les animaux

P. H. T. HARTLEY

D'une façon générale on accepte maintenant l'idée de l'importance fonctionelle et évolutionnaire de la coloration des animaux, mais on a cependant rejeté beaucoup des théories extravagantes émises à son appui. Sans aucun doute, certains motifs de couleurs sont utiles aux animaux en les protégeant contre leurs ennemis ou en leur permettant de s'approcher de leurs victimes sans les alerter. Dans cet article l'auteur discute les principaux types de camouflage chez les animaux et donne des exemples à l'appui.

On a souvent pris le mot camouflage comme synonyme de dissimulation défensive; en fait, tout mécanisme permettant de déjouer l'observation peut être considéré comme un mécanisme de camouflage sans qu'il soit nécessaire de définir si sa fonction est défensive ou agressive. Il va sans dire qu'une coloration ou une structure peut souvent être à deux fins, rendant l'animal plus difficile à découvrir pour ses ennemis et à éviter pour ses victimes.

Les dispositifs de dissimulation peuvent être de deux sortes. Il peut y avoir une ressemblance particulière avec un fond donné, comme celle que l'on observe dans le cas des phasmidés (phasmes, figure 4), des phyllies (*Phyllium pulchrifolium*, figure 3) et des rainettes (*Hyla arborea*, figure 5), chez lesquels l'allure générale, les détails de structure, la teinte principale et les détails du dessin contribuent tous à donner l'impression de l'habitat de l'animal. On trouve plus fréquemment ces ressemblances particulières chez les animaux relativement petits et sédentaires — insectes, crabes et petits poissons vivant parmi les algues — et pour lesquels un arbre, un coin de broussailles ou un paquet d'algues flottantes constitue un domaine suffisant à leurs besoins.

Les animaux plus volumineux et plus actifs ne présentent généralement pas ces ressemblances spéciales, car il est évident que plus la structure, le dessin et les dimensions rappellent un fond particulier, comme par exemple une feuille, une fronde ou une fleur, plus le contraste est frappant avec un fond différent. La partie la plus intéressante de l'étude de la dissimulation des animaux est celle des mécanismes à l'aide desquels ils se rendent suffisamment indistincts dans des milieux différant largement. Il est inutile d'insister sur le fait qu'aucune combinaison de couleurs ne pourrait convenir à tous les arrière-plans possibles, mais les animaux des forêts les plus actifs présentent des dessins qui les dissimulent dans la forêt entière et non pas seulement par rapport à un arbre de cette forêt. De même, les animaux du littoral sont adaptés au rivage en général et non pas seulement à l'abri d'une espèce d'algues particulière.

Notons que ce qui est nécessaire n'est pas que l'animal soit invisible, mais qu'il ne tranche pas. Le but du camouflage n'est pas d'empêcher qu'il soit vu par ses ennemis ou ses victimes, mais d'empêcher qu'il soit reconnu. Les processus biochimiques de vision eux-mêmes sont sans importance, ce qu'il faut éviter c'est la reconstitution des groupes de couleurs de luminosité différente, qui constituent les éléments de la perception, en un ensemble cohérent ayant un sens pour celui qui les observe. Il importe peu qu'une ou plusieurs parties d'un animal soient visibles si elles ne peuvent être identifiées comme appartenant à cet animal. Par exemple, la longue raie crême de *Psammophis subtaeniatus* (figure 6) est visible, mais l'œil de l'observateur tend à la suivre et est ainsi distrait de la forme cylindrique du serpent lui-même.

La ligne générale caractéristique de n'importe quel animal peut être dissimulée par des variations de structure ou bien par un motif qui en détourne l'attention. Dans le cas d'un nymphalidé *Polygonia c.-album* (figure 7), les bords extérieurs des ailes antérieures et postérieures présentent des découpures très différentes des courbes arrondies habituelles des ailes de papillons, et l'on remarque que sur la surface supérieure, comme sur la surface inférieure, le dessin suit les contours dentelés du bord de l'aile. Il a été démontré qu'un dessin disposé parallèlement au contour tend à renforcer celui-ci, tandis qu'un dessin qui forme avec lui un angle aigu tend à en détourner l'attention. On peut voir qu'aux bords antérieurs et postérieurs des ailes du *Polygonia*, qui sont d'une forme plus courante, les contours des divers

motifs du dessin sont disposés plus ou moins perpendiculairement au bord le plus voisin.

Dans le cas de la blennie commune (*Blennius pholis*, figure 1) les éléments principaux du dessin sont disposés de façon que leurs extrémités soient perpendiculaires à la longueur du poisson. Lorsqu'on voit la blennie contre un fond de sable uni, qui n'est pas le fond normal (blennie du bas, à gauche), elle ressort assez nettement. Mais si le poisson est placé contre un arrière-plan marbré constitué par une roche (blennie supérieure), on se rend compte de l'efficacité du dessin pour la dissimuler. La blennie n'est pas invisible, mais on ne la voit ni facilement ni vite et, ainsi que l'a fait remarquer le professeur G. Hale Carpenter, à l'assemblée de la British Association, en 1947, une bête de proie ne peut consacrer trop de temps à la recherche d'une victime. Dans le cas du poisson comme dans celui du papillon, on remarque que le motif de camouflage est composé de tons opposés plutôt que de couleurs contrastantes. Les contrastes de tons — contrastes entre le clair et le foncé — sont effectifs à des distances beaucoup plus grandes que les contrastes de couleurs, et ce sont ceux qui sont employés pour détourner l'attention de l'observateur de la structure qu'ils recouvrent. Chez *Polygonia* les régions colorées proximates des ailes sont plus foncées à l'endroit précis où elles rencontrent les taches claires distales, et chez *Psammophis* la ligne crême est renforcée par une ligne plus foncée placée immédiatement à côté. Un contraste de ton violent, tel que celui qui est fourni par les quatre raies claires le long du dos de la bécassine (figure 8), fait croire que les régions claires sont surélevées par rapport aux régions foncées, masquant ainsi la continuité de la structure. La terminaison abrupte des raies pâles concourt également à détourner l'attention des lignes de construction. Les motifs de ce type qui détournent l'attention de la silhouette du sujet lui-même sont appelés dessins disruptifs.

Il est remarquable que chez beaucoup d'animaux les détails du dessin sont à peine visibles aux distances pour lesquelles la couleur constitue une protection efficace. Les teintes claires et foncées se fondent en un seul ton, tout comme les éléments de couleur, des hautes lumières et des ombres du fond se mêlent en une seule couleur et teinte. On n'emploie jamais, ou rarement, le camouflage par une seule teinte fondue si le dessin doit être effectif contre un arrière-plan présentant peu de contrastes. Les lumières et les ombres sont rapprochées et la combinaison de ton et de couleur, perçue lorsqu'on les observe à faible distance, a une luminosité qui ne peut être obtenue à l'aide d'une seule teinte plate.

Une couleur et une teinte allant avec le ton général du fond ne suffisent pas à dissimuler un corps solide lorsque, comme c'est le cas en plein air, l'éclairage n'est pas uniforme. L'apparence de solidité résultant des hautes lumières sur les surfaces qui reçoivent l'éclairage, et des ombres sur les surfaces dont la lumière est exclue par la masse de l'objet lui-même, est toujours suffisante pour qu'il apparaisse en relief, même si, en d'autres circonstances, il se marie bien avec le fond. Le procédé de « contre-ombrage » par lequel l'effet de l'éclairage par le haut est diminué, se retrouve dans divers groupes animaux — chez les mammifères, les oiseaux, les poissons et les reptiles et chez plusieurs chenilles. Le résultat obtenu est de donner à des corps de forme cylindrique ou subcylindrique, l'apparence d'être plate — et, ici encore, de retarder ou empêcher non pas la perception de l'objet mais son identification. L'apparence relativement immatérielle du jeune brochet (*Esox lucius*) que l'on voit sur la figure 2 montre l'effet du contre-ombrage.

Ce mécanisme est extrêmement simple. La surface dorsale, sur laquelle tombe normalement la plus grande lumière, est très sombre, souvent presque noire, le long de la ligne médiane. La surface ventrale, sur laquelle normalement n'arrive aucune lumière, est blanche ou argentée et les côtés présentent un dégradé depuis les tons foncés du dos jusqu'à la pâleur de la face inférieure. L'ombre le long du ventre est moins intense puisqu'elle tombe sur une surface claire; les ombres graduées des flancs sont également rendues moins évidentes par la variation de teinte de la surface. Sur la blennie de la figure 1, qui se détache sur un fond de sable, on voit que le ventre ne paraît pas sensiblement plus foncé que le dos malgré la présence d'un fort éclairage par le haut. Le contre-ombrage, dans ce cas, combiné avec un motif disruptif, suffit pour donner à cette surface courbe l'apparence d'être plus ou moins plane.

Chez quelques animaux vivant habituellement le ventre en l'air — tels la larve du smérinthe demi-paon (*Smerinthus ocellatus*) et l'un des synodontes du Nil (*Synodontus batensoda*) — la coloration présente un contre-ombrage, mais les teintes foncées sont sur le ventre (surface éclairée). Il ne serait pas nécessaire de chercher des arguments plus probants en faveur du contre-ombrage, mais on a également prouvé expérimentalement la puissance en tant que facteur d'identification de

FIGURE 1 – *La blennie commune* (Blennius pholis). *Groupe de trois blennies, montrant la combinaison des motifs disruptifs et du contre-ombrage.*

FIGURE 2 – *Le brochet* (Esox lucius). *Ce jeune brochet montre la diminution de l'ombre sur la surface inférieure qui résulte d'un motif contre-ombré.*

FIGURE 3 – *Une phyllie* (Phyllium pulchrifolium). *Ceci illustre la ressemblance spéciale protectrice entre l'insecte et les feuilles.*

FIGURE 5 – *La rainette* (Hyla arborea), *montrant la ressemblance spéciale protectrice entre un vertébré et les feuilles.*

FIGURE 4 – *Un phasme* (Phasmidae), *montrant la ressemblance spéciale protectrice d'un insecte avec les brindilles.*

FIGURE 6 – *Le serpent à longue raie* (Psammophis subtaeniatus). *Illustrant le cas d'une tache de couleur claire détournant l'attention de la forme réelle.*

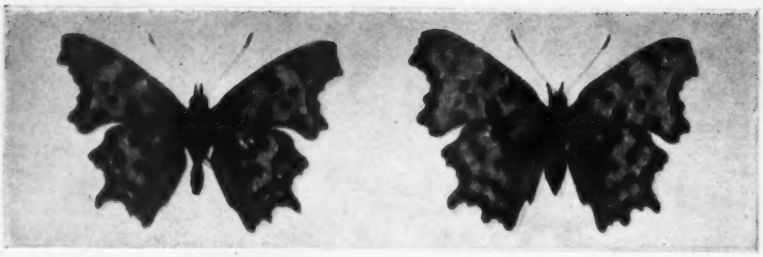


FIGURE 7 – *La nymphalidé* (Polygonia c.-album). *Les surfaces supérieure et inférieure des ailes de ce papillon présentent des motifs qui suivent les bords irréguliers et forment un angle aigu avec les bords arrondis.*

(*Photo S. Beaufoy, reproduit d'après* Butterflies, *par E. B. Ford, avec l'autorisation de Wm. Collins & Adprint Ltd.*)

FIGURE 8 – *La bécassine commune* (Capella gallinago). *La bécassine dans son nid présente une coloration qui lui permet de se dissimuler dans une région marécageuse, combinée avec l'effet disruptif des raies claires le long du dos.*

(*Reproduit d'après* Birds in Colour, *par Walter E. Higham, avec l'autorisation de Wm. Collins & Adprint Ltd.*)

l'apparence de solidité. Nice et Ter Pelwyk (*The Auk*, **38**, 195–214, 1941) ont montré qu'une silhouette en carton figurant un hibou n'effraie pas de jeunes passereaux (*Melospiza melodia*) à moins qu'elle ne soit peinte de façon à produire l'impression de relief.

Mentionnons ici que quelques animaux doués d'armes puissantes (comme le putois par exemple), présentent un principe de coloration inverse de celui du contre-ombrage, étant clairs ou blancs à la partie supérieure, et foncés en-dessous. Ces espèces n'ont aucun besoin de se dissimuler, mais tirent au contraire un avantage biologique à arborer leur pavillon, *nemo me impune lacessit*. Une forme intéressante du camouflage est celui que les zoologistes désignent sous le nom de mimétisme batésien. Dans ce cas, un animal rare et comestible imite la coloration d'un animal très répandu et non-comestible: le dessin de celui-ci est du genre « avertisseur » et le rend facile à voir et l'espèce mimétique abandonne la coloration normale de son groupe pour profiter des avantages de cet avertissement. Il est évident que les imitateurs doivent toujours être moins nombreux que leurs modèles, car on a certaines preuves que les jeunes animaux apprennent au moins en partie par expérience, à éviter les aliments désagréables, et l'avertissement par coloration violente sera sans valeur à moins que la majorité des animaux qui la possèdent soient véritablement nauséabonds.

On aura pu noter que les mécanismes de dissimulation sont faits essentiellement pour un fond donné. Dans bien des cas l'animal qui présente un dessin qui le dissimule dans un habitat particulier doit faire plus que d'avoir les couleurs et les tons désirés disposés en dessins qui tendent à détourner l'attention de son allure générale particulière et à l'assimiler à son arrière-plan. Il doit de plus se comporter de façon à tirer tous les avantages possibles de ses dessins. Les butors étoilés (*Botaurus stellaris*) tendent leur cou et leur bec vers le haut, de façon que les rayures longitudinales de leur gorge et de leur poitrine puissent reproduire les lumières et les ombres verticales des lits de roseaux dans lesquels ils se cachent. Les jeunes pies-grièches (*Hemipus picatus leggei*) se blottissent immobiles dans leur nid avec leur bec en l'air, ressemblant, avec leur duvet tacheté, à un chicot sur la branche. (W. W. A. Phillips, *Ibis*, **xiv**, 5, 450–4, 1940).

Une objection fréquemment soulevée au sujet des théories relatives à la fonction dissimulatrice de la coloration des animaux est que le sujet devrait rester immobile pour que le dessin soit effectif. Ceci n'est, en tous cas, que partiellement vrai. Un papillon d'un jaune brillant, *Gonopteryx rhamni*, est plus visible dans un bois au mois de mars que le petit papillon couleur d'écaille, *Aglaia urticae*, qui vole à la même époque. Même s'il était exact que tous les animaux en mouvement soient également visibles, l'objection serait tout aussi futile, parce que les dessins ont pour but de protéger l'animal pendant les périodes où il est forcé de rester sédentaire.

Les exemples les plus parfaits de combinaison de dessin et de façon de se comporter pour produire les meilleurs effets de camouflage sont observables chez le géomètre. Chez plusieurs espèces, *Eucosmia certata* et *Hybernia leucophaearia* (H. B. Cott, *Adaptive Coloration in Animals*, London, 1940), les ailes portent un dessin dans lequel dominent les éléments linéaires, et ceux-ci sont disposés de telle sorte que lorsque le papillon est au repos ils sont perpendiculaires à son axe longitudinal. Dans leur position de repos habituelle leur corps est horizontal, ce qui amène les lignes dominantes du dessin des ailes en alignement avec les fentes verticales et les entailles de l'écorce des arbres sur lesquels ils se posent généralement. Toute autre position mettrait le dessin des ailes en travers de la ligne générale du dessin du fond et rendrait le papillon assez apparent. Cott (*op. cit.*) a montré que chez le sphinx africain *Xanthopan morgani* le dessin des ailes repliées est parallèle à l'axe longitudinal du corps; ce papillon se pose d'habitude verticalement et non horizontalement. Il dispose ainsi le dessin dans l'alignement voulu, avec les fentes verticales de l'écorce des casuarines sur lesquelles il se pose. Ils se conduisent donc différemment des géomètres, mais le résultat obtenu est le même.

La façon de se comporter ne se combine pas seulement avec la forme et la couleur pour produire une illusion au repos. Un monocirrhe, le *Monocirrhus polyacanthus*, très vorace, rappelle par la forme et la couleur une feuille saturée d'eau — de plus, lorsqu'il s'approche de sa proie il avance lentement et en oscillant, penchant d'un côté et de l'autre à la façon d'une feuille détrempée, entraînée et retournée par le courant (H. B. Cott, *op. cit.*). Comme dans tant d'autres cas de camouflage animal, la forme, la couleur et la façon de se comporter se combinent non pas pour rendre l'animal invisible, mais pour qu'il ne soit pas remarqué. L'animal qui n'attire pas l'attention de ses ennemis et ne jette pas l'alarme parmi ses victimes a réalisé une avance considérable sur le chemin d'une évolution pleine de succès.

Les méthodes scientifiques de conservation des tableaux

IAN RAWLINS

Il y a environ deux ans, les journaux ont beaucoup parlé du nettoyage de certains tableaux de la National Gallery, à Londres. On a créé alors une commission d'enquête, qui a publié un rapport détaillé. Cet article se propose un autre but: passer en revue les méthodes scientifiques et techniques utilisées au cours de l'enquête. Les tableaux nettoyés n'avaient pas été endommagés.

Au cours de l'été 1947, les administrateurs de la National Gallery de Londres demandèrent à une commission d'enquête confidentielle de procéder à « un examen critique des méthodes et du matériel employés dans ce musée pour le nettoyage des tableaux . . .» Quelques semaines après, le Conseil d'Administration eut connaissance des délibérations et des observations de la commission. Des exemplaires du rapport (maintenant appelé rapport Weaver) furent ensuite mis à la disposition du public. La commission se composait de MM J. R. H. Weaver, Président de Trinity College, à Oxford (président), G. L. Stout, Directeur du Département de Conservation et Recherche, au Fogg Art Museum, à l'Université de Harvard, U.S.A., (maintenant Directeur de l'Art Gallery de Worcester, Massachusetts), et P. Coremans, Directeur du Laboratoire Central des Musées Nationaux Belges. M Weaver a déjà écrit un résumé de l'essentiel du rapport et de ses conclusions (voir *The Times*, du 8 mai 1948).

La commission eut à examiner dix tableaux: un Constable, un Koninck, un Rembrandt, un Velasquez et six Rubens. Nous décrirons ici, en détail, le travail de laboratoire effectué, en nous restreignant aux observations les plus fondamentales et à leurs conséquences.

La commission a donné au monde des conservateurs de musées un document unique, et à tous ceux qui aiment les œuvres d'art, un examen objectif dans un domaine ardu. L'homme de science y reconnaîtra des techniques, jusqu'alors rarement rassemblées, mais coordonnées ici dans un but commun.

Pour saisir le problème du nettoyage, il faut avoir quelque idée de la mécanique des tableaux. C'est une science relativement récente. Elle étudie les efforts et les tensions (de toute origine) auxquels est soumis un tableau, conçu comme un système de couches étroitement associées. A ce point de vue, le nettoyage ne devient plus qu'un aspect — cependant très important — de la science appelée en général conservation. Le système de couches est essentiellement quadruple: (1) le support, (2) le champ, (3) la couche de peinture, (4) la couche superficielle. La conservation s'occupe de ces quatre couches, tandis que le « nettoyage » ne concerne en général que l'enlèvement des vieilles couches superficielles pour les remplacer par une couche neuve. On a employé le pluriel à dessein. On trouve facilement les restes de plusieurs enduits de ce genre, avec des fragments du premier d'entre eux dans les interstices des figures, c'est-à-dire de la couche de peinture proprement dite.

Indépendamment de toute raison esthétique, on enlève une couche résineuse ternie. Par son rétrécissement avec le temps, elle constitue une menace perpétuelle pour la couche de peinture sous-jacente. Les forces de contraction peuvent être et sont souvent suffisantes pour arracher des particules de peinture de leur emplacement, et si l'on ne supprime pas cette tension, la couche tombe littéralement en morceaux. Voilà un exemple de mécanique des tableaux sous une forme localisée, entièrement distincte des dilatations et des contractions du support qui provoquent des écailles et des fendillements.

On verra tout de suite que la décoloration de vieilles couches de vernis ternies est une suggestion intéressante, mais sans utilité, dans nos préoccupations présentes. On enlève les lourds enduits superficiels, non principalement pour leur opacité et leur aberration chromatique, mais parce qu'ils mettent en danger la stabilité des couches sous-jacentes. Il est essentiel de s'en débarrasser pour que le tableau survive. On pourrait faire des

PLANCHE I – *Photographie sur film panchromatique du tableau « La Baigneuse » de Rembrandt, avant le nettoyage.*

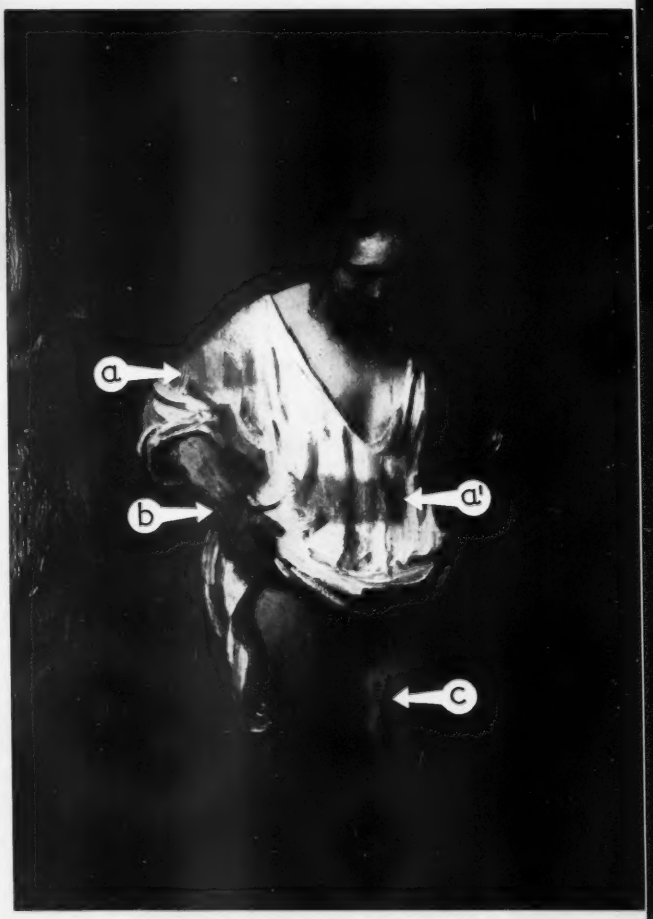


PLANCHE II – *« La Baigneuse » photographiée en ultraviolet filtré pendant le nettoyage de 1946. On voit en (a) et (a¹) des enduits antérieurs de vernis devenu opaque. La couche rajoutée par-dessus en (b) et (c) a un manque caractéristique de fluorescence.*

PLANCHE III – *Photographie aux rayons X de « La Baigneuse », prise en 1927, révélant l'état de la peinture originale. On voit une vieille craquelure en (a). L'inégalité d'une couche de peinture à son application originale se révèle en (b).*

PLANCHE IV – *Cette photographie de « La Baigneuse », prise au début de 1947, met en évidence la stratigraphie du tableau. On peut voir après nettoyage l'ébauche en (b^1), et la coulée de la peinture en (b^2).* (× 4)

PLANCHE V – *Photographie de « Le Chapeau de Paille » par Rubens, avant le nettoyage. Il y a en (a) une fente verticale; on peut voir le champ en (b) sous la fine couche de peinture.*

PLANCHE VI – *Photographie de « Le Chapeau de Paille » en infra-rouge. Elle révèle une ancienne couche de peinture bleue sur du vert en (a), bleue sans couche verte au-dessous en (b), gris-vert sur du bleu et du vert en (c); le modelé de la main gauche en (d) et les doigts de la main droite et la manche en (e).*

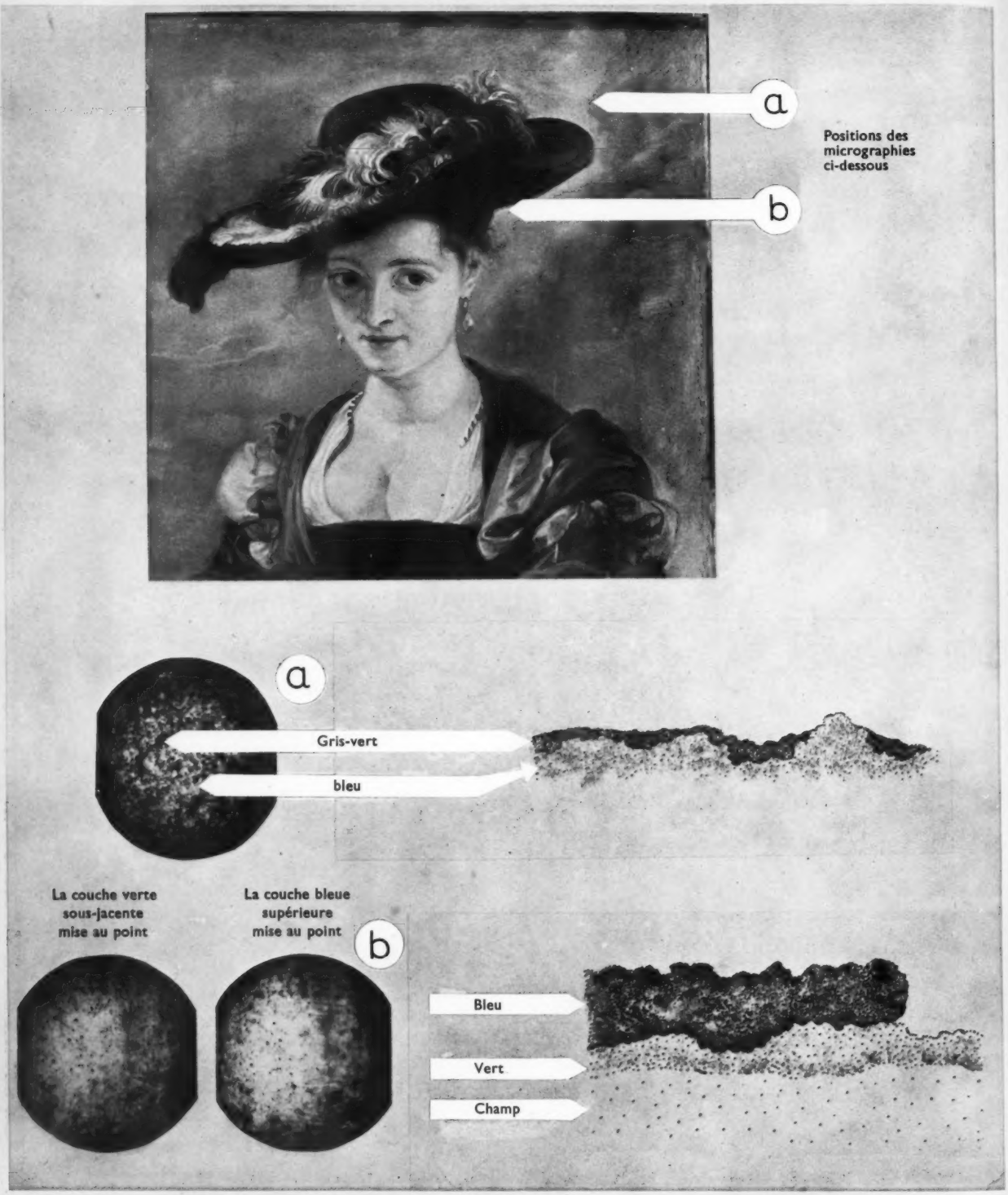


PLANCHE VII – *Cette illustration montre la facilité avec laquelle le microscope à éclairement périphérique révèle les relations de profondeurs dans la couche de peinture.* (× 35)

recherches pour trouver un vernis qui vieillisse sans se contracter, (et se ternir), ou, tout au moins, qui puisse recouvrer son élasticité et sa souplesse. Dans le langage de la chimie physique, cela implique probablement une réorientation complète du réseau tridimensionnel que possèderaient ces films. On ne sait pas encore si la rigidité (l'accrochage à la couche de peinture sous-jacente) est localisée aux « charnières », ou si les liaisons intermoléculaires tendent à se rétrécir en agrippant la peinture comme une vis. Tout ce que nous pouvons faire pour le moment c'est de dissoudre la couche superficielle — en général avec de l'acétone — et de la remplacer par une préparation de mastic, probablement efficace et sans danger pour cinquante ans. Il faudra alors l'enlever à son tour et la remplacer par un enduit frais. Le mastic reste encore le meilleur enduit protecteur connu, car il se dissout facilement dans un solvant inoffensif pour la peinture qu'il recouvre.

Michaël Faraday savait déjà que certains des milieux où sont inclus les particules de pigments contiennent un peu de résine. Dans ce cas, il faut beaucoup de soin pour le nettoyage, car l'action dissolvante peut s'étendre à l'interface vernis-peinture, avec des résultats désastreux. Heureusement, cependant, la solubilité des couches d'huile séchée dans les solvants organiques est grandement diminuée par la présence des pigments. Le coefficient de sécurité est ainsi plus grand que dans les essais industriels, où l'on a examiné complètement l'action des solvants organiques sur un film de linoxyne en l'absence de la phase pigment.

D'une façon générale, lorsqu'on peut le faire avec sécurité, il est bon d'enlever toutes traces d'un vernis vieux et dégradé, car non seulement les restes défigurent le tableau, mais encore ils peuvent produire des gonflements ou des imbibitions complexes, et désarticuler la peinture par changement de volume. On met facilement en évidence, à toutes les étapes du nettoyage, la présence de corps résineux par leur fluorescence laiteuse caractéristique en lumière ultra-violette filtrée. Ce genre d'essai est devenu un contrôle courant au laboratoire de la Gallery. On verra ainsi que, quand on parle de « mécanique des tableaux » il s'agit de bien plus que le gros rétrécissement et le gros gonflage qui se produisent avec des colloïdes comme le bois et les autres agrégats cellulosiques: il s'agit de réactions microscopiques dans les diverses couches du tableau.

Ayant présentes à l'esprit ces caractéristiques principales de l'anatomie d'une peinture, nous pourrons expliquer l'emploi au laboratoire des différentes radiations électromagnétiques. On illustrera leur emploi sur deux exemples caractéristiques, choisis parmi les dix tableaux déjà mentionnés. Ce sont « La Baigneuse » de Rembrandt (1606–69), N.G. No. 54 et « Le Chapeau de Paille » de Rubens (1577–1640), N.G. No. 852. On a choisi ces deux-là, en partie à cause de leur importance dans la collection nationale britannique, mais aussi et surtout parce qu'ils montrent le pouvoir des méthodes optiques pour nous renseigner sur la structure des tableaux et ses modifications dans l'histoire.

La planche I est une photographie panchromatique de l'ensemble du tableau (No. 54). On l'a prise en mai 1945, plus d'un an avant le nettoyage. La couche de peinture est un mélange riche en huile; les couches superficielles sont plus pauvres et par-dessus sont superposés de riches vernis. On voit sur la planche II le tableau en lumière ultra-violette filtrée, pendant le nettoyage en 1946. On distingue en *a* et a^1 des enduits superficiels initiaux de vernis terni. En *b* et *c*, la peinture rajoutée par-dessus présente une absence caractéristique de fluorescence. Une photographie aux rayons X, prise déjà en 1927, révèle l'état de la peinture originale (planche III). On voit une vieille craquelure en *a*. On remarque en *b* que la peinture a été initialement étendue inégalement. La planche IV et la figure 1, prises au début de 1947, sont des exemples de stratigraphie, ou étude tridimensionnelle du même sujet. Sur la première, une macrographie (× 4), on voit la main droite et le poignet après le nettoyage. Sous la couleur de la chair se révèle l'ébauche (b^1). Ce faible grossissement dépeint le caractère liquide ou coulée (caractère fluide) de la peinture originale sur le poignet (b^2). On a trouvé ces photographies à faible grossissement de plus en plus utiles, à la fois dans cette enquête et dans le contrôle courant du laboratoire.

A première vue, la figure 1 paraît étrange. Elle représente des sections choisies (idéalisées) des phases illustrées sur la planche IV. En lisant de haut en bas, *a* est une coupe longitudinale d'un coup de pinceau, qui met en évidence le bord elliptique dû à la tension superficielle γ du milieu fluide. La relation entre γ, la profondeur d, la largeur w d'un coup de pinceau, et l'accommodation f de la peinture, est de la forme $\gamma = w^2f/8d$. La profondeur d mesure la facilité avec laquelle la peinture s'étend, et est sensible aux influences thixotropiques, mais toutes choses égales d'ailleurs,

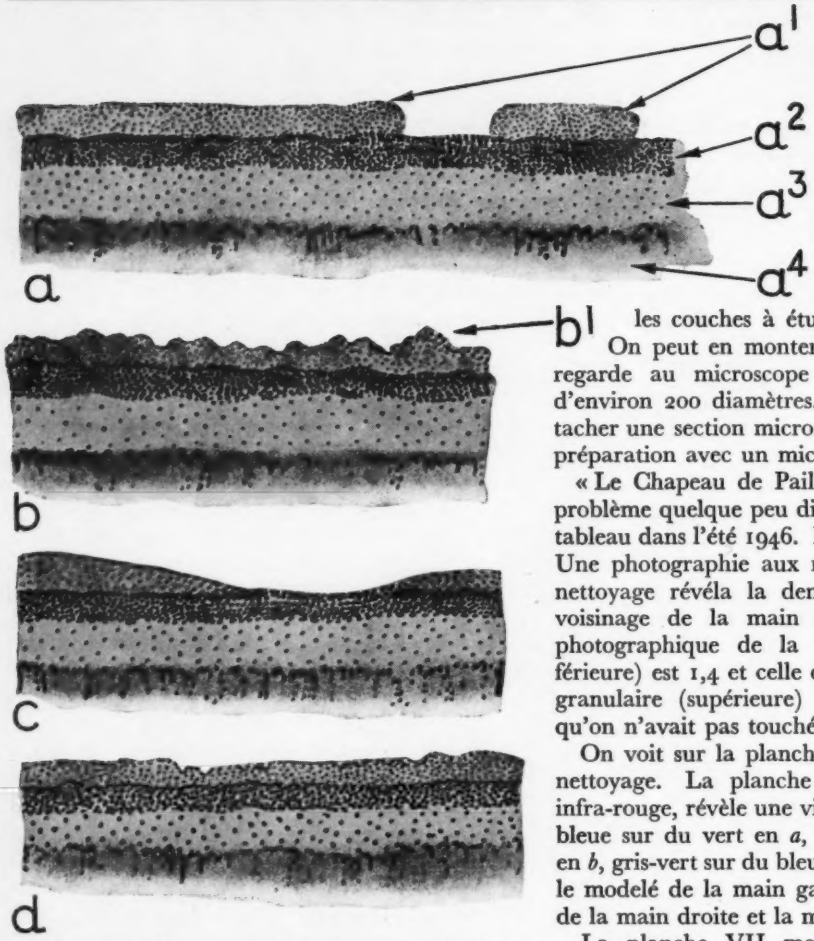


FIGURE 1 – *Diagramme montrant des sections choisies des phases illustrées sur la Planche IV.*

elle varie comme l'inverse de la tension superficielle.

Le séchage d'une peinture est un effet de surface et non un effet global. Cela rend les transformations très difficiles à suivre. Pour en revenir au diagramme, a^2 est la peinture sous-jacente, a^3 le champ, et a^4 le bois de support — ici probablement du chêne.

La figure 1 *b* est la section transversale d'un coup de pinceau. On voit les dentelures dues aux poils du pinceau. S'il y a eu dégradation ou érosion, les flancs de la « vallée » sont entièrement différents de *a*. On voit en *d* combien les coups de pinceaux seraient adoucis; les petites rides disparaissent.

Dans certains cas, on peut réaliser toutes ces conditions physiquement. Mais ce n'était ni nécessaire, ni désirable dans la présente enquête. On enlève une portion microscopique du tableau, et dans des circonstances favorables, et avec beaucoup d'adresse, on peut obtenir un minuscule noyau, qui contient toutes les couches à étudier, à partir du fond. On peut en monter une préparation qu'on regarde au microscope sous un grossissement d'environ 200 diamètres. Ou bien, on peut détacher une section microscopique et en faire une préparation avec un microtome.

« Le Chapeau de Paille » de Rubens pose un problème quelque peu différent. On a nettoyé le tableau dans l'été 1946. La peinture est brillante. Une photographie aux rayons X, faite après le nettoyage révéla la densité dans la région au voisinage de la main droite. Là, la densité photographique de la couche de vernis (inférieure) est 1,4 et celle de la couche de peinture granulaire (supérieure) est 1,1, ce qui prouve qu'on n'avait pas touché aux vernis.

On voit sur la planche V le portrait avant le nettoyage. La planche VI, sous l'éclairement infra-rouge, révèle une vieille couche de peinture, bleue sur du vert en *a*, bleue sans couche verte en *b*, gris-vert sur du bleu et du vert en *c*. On voit le modelé de la main gauche en *d*, et les doigts de la main droite et la manche en *c*.

La planche VII montre les possibilités du microscope à éclairement périphérique pour révéler les relations d'épaisseur. Les positions sont indiquées sur la photographie du haut: *a* et *b* sont des microphotographies prises avec un grossissement de × 35, tandis qu'il y a sur la droite des représentations schématiques des strates correspondantes. En *a*, la mise au point est faite sur la couche vert-gris, et le bleu n'est pas au point; en *b* (à gauche), on a mis au point sur le vert sous-jacent, et en *b* (à droite), sur le bleu au-dessus. Dans ces exemples la différence réelle, en profondeur verticale, après correction pour la réfraction du milieu, est de l'ordre de 0,02 mm. Ces observations ont permis une compréhension plus profonde de la technique du maître, et la suggestion que le fond original a disparu dans un nettoyage est insoutenable.

Les illustrations sont reproduites avec la permission des Administrateurs de la National Gallery.

Etude bactériologique des lacs

CHARLES B. TAYLOR

L'attention ne s'est pas suffisamment portée sur les principes fondamentaux de la bactériologie de l'eau potable, bien que celle-ci ait été l'objet de recherches soigneuses à cause de son influence sur la santé publique. Les premiers travaux sur ce sujet ont été faits par le pionnier anglais Percy Frankland, à la fin du XIXème siècle, mais ce n'est que récemment que l'intérêt s'est ranimé pour l'étude des problèmes relatifs à la multiplication des bactéries dans l'eau, leur métabolisme et leurs relations avec les autres organismes.

Au début du XIXème siècle, la qualité d'eau potable — si même on la recherchait — était généralement fondée sur la teneur en matières organiques. Le travail de Frankland et de ses contemporains a jeté les fondations des méthodes bactériologiques modernes et sensibles pour la détection de la pollution de l'eau par les matières fécales et a relégué les tests chimiques existants au second plan. Des travaux plus récents ont été consacrés à la recherche de tests perfectionnés et plus sensibles et d'essais—jusqu'à présent infructueux — pour différencier le *Bacterium coli* humain de ceux des mammifères et des oiseaux. Ce bacille, très répandu dans les excréta, est par conséquent un indice de la contamination fécale. La concentration des efforts sur les problèmes pratiques de la pollution des eaux a eu pour résultat de faire négliger la recherche des principes fondamentaux relatifs à la multiplication des bactéries dans l'eau, à leurs activités biochimiques et à la part qu'elles jouent dans le développement des autres formes de vie dans les eaux courantes.

FIGURE 1 – *Percy Frankland.*

La plupart des systèmes modernes de distribution d'eau comprennent un réservoir qui sert à emmaganiser l'eau ou profitent d'un lac naturel. Au point de vue de l'analyse bactériologique des eaux, il est indifférent de savoir si l'eau est contenue dans un réservoir naturel ou artificiel, car les conditions générales sont les mêmes dans les deux cas. Un lac n'est pas simplement un gigantesque bocal d'eau, mais un système compliqué dans lequel des facteurs complexes, biotiques, physiques et chimiques varient considérablement. Avec le temps, la fécondité d'un lac tend invariablement à augmenter, grâce à son alimentation constante par les rivières qui s'y déversent. On a peu de détails sur le rôle que les bactéries jouent dans de tels systèmes aqueux ou sur les changements biochimiques qu'elles peuvent provoquer dans l'eau avant que celle-ci soit consommée ou arrive à la mer. Dans toute grande masse d'eau, il y a trois sphères d'activité des bactéries, distinctes, mais superposées: d'abord l'eau ne contenant aucune vie, ni animale, ni végétale; deuxièmement l'eau contenant le plancton, comprenant à la fois des formes animales et végétales; enfin la vase ou autres dépôts dans le fond du lac.

Pendant les mois d'hiver, à moins qu'il n'y ait une couverture de glace, il y a normalement assez de vent pour que l'eau d'un lac circule librement — assurant une égale répartition de la température à travers la masse d'eau — et pour maintenir la saturation de l'eau en oxygène dissous (figure 5). Un tel système permet l'existence de processus d'oxydation à la surface de la vase et les produits de décomposition atteignent les eaux de la couche supérieure et peuvent à nouveau servir au plancton et aux bactéries. Pendant l'hiver, cependant, les basses températures restreignent inévitablement l'intensité de l'activité bactérienne. Pendant le début de l'été, la température de la surface de

FIGURE 2 – *Derwentwater, rive de Borrowdale. Lac peu profond (profondeur maximum 26 m) aux bords caractéristiques de nombreux lacs du « District des Lacs anglais ».*

FIGURE 3 – *Derwentwater, rive nord et vue de Skiddaw. Roseaux avec des* Phragmites *à l'avant.*

FIGURE 4 – *Rydal Water. Vue prise au sud et près de l'écoulement (Rothay). C'est un petit lac peu profond (profondeur maximum 16 m), se jetant dans le lac de Windermere. Entrelacement de joncs, de roseaux et de nénuphars à l'avant.*

l'eau d'un lac s'élève grâce à l'accroissement des radiations solaires, et la différence qui en résulte dans la densité de l'eau donne naissance à deux couches distinctes, une couche supérieure ou « épilimnion » et une couche inférieure plus froide ou « hypolimnion ». La zone de transition entre les deux couches est la « thermocline ». Dans des lacs peu profonds et exposés, de telles stratifications thermiques peuvent être passagères, mais dans des lacs plus profonds ou abrités, cet état peut être très stable. Dans ce dernier cas, l'activité des bactéries à la surface de la vase et, à un certain degré, dans l'eau qui la surmonte, font diminuer progressivement l'oxygène de l'hypolimnion, car tout nouvel apport de la couche supérieure est supprimé; dans le voisinage immédiat de la surface de la vase, les conditions de vie peuvent devenir anaérobies. D'autre part, les mouvements de l'eau dans l'épilimnion varient beaucoup et fréquemment, car ils sont le résultat de facteurs tels que les conditions atmosphériques (vent, température ambiante), la température des rivières qui se déversent dans le lac et celle de la pluie ou de l'eau du lac. Les figures 6 et 7 illustrent les différents états de l'épilimnion et de l'hypolimnion.

La concentration des corps chimiques dissous dans un lac est soumise à l'influence de la quantité amenée par les eaux, à celle consommée par le plancton végétal et, à un degré moindre, par les bactéries. La concentration de substances déterminées peut être tellement réduite par l'accroissement de certaines algues, que l'augmentation de l'espèce ne puisse se poursuivre; on estime par exemple, que le développement de la diatomée *Asterionella* est conditionné par la présence de son aliment essentiel, la silice. Dans tous les cas, la concentration en solution des produits chimiques essentiels au développement des bactéries est très faible dans la plupart des eaux des lacs: on trouve rarement de l'ammoniaque, l'azote nitrique dépasse rarement 1 millionième et le phosphore 0,004 millionième.

Un lac est le réceptacle de tous les différents types de bactéries qui peuvent être pris par la pluie aux versants qui entourent le lac ou à l'atmosphère. Il est donc impossible d'affirmer, en faisant une numération des bactéries de l'eau prélevée dans le lac, que les types qui poussent en milieu usuel sont, ou non, originaires de l'eau des lacs. Elles pourraient éventuellement ne pas y trouver de conditions compatibles avec la

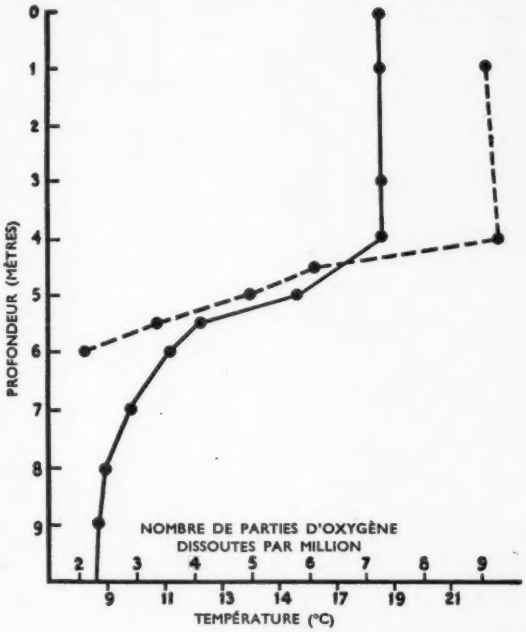


FIGURE 7 – *Blelham Tarn (Lancashire). Températures (ligne continue) et concentrations en oxygène dissous (pointillé) à différentes profondeurs, pendant la période de stratification* (8 *aout* 1947).

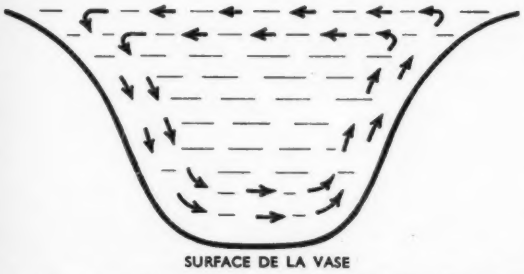


FIGURE 5 – *Diagramme montrant la circulation d'eau dans un lac en hiver.*

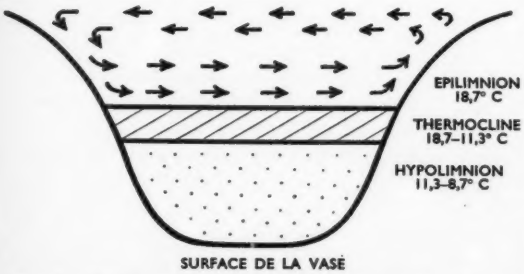


FIGURE 6 – *Diagramme montrant la stratification de l'eau dans un lac pendant l'été.*

continuation de leur développement. Les résultats des analyses de l'eau du milieu du lac Windermere suggèrent que, sauf après de fortes chutes de pluie, les bactéries que l'on trouve sont en grande partie originaires du lac et capables de s'y multiplier. Certains types, évidemment, comprennent des espèces que l'on peut trouver dans le sol ou ailleurs. Il est incontestable que les chutes de pluie sont un agent important de l'augmentation du nombre de bactéries dans l'eau. Ceci est dû: en partie à des organismes du sol qui entrent dans le lac, à l'effet stimulant sur la croissance de substances nutritives apportées par l'eau, à une oxygénation accrue provoquée par la pluie frappant la surface du lac, et peut-être aussi à la perturbation des courants de surface due à une cause purement mécanique. Pendant la stratification thermique qui a lieu en été, le nombre des bactéries diminue dans l'hypolimnion et les facteurs extérieurs sont sans effet à moins qu'ils ne soient assez forts pour détruire ou modifier la stratification. A la suite des expériences qui ont eu lieu pendant plus d'un an dans le lac Windermere, on a constaté que les bactéries fécales apportées dans le lac par les eaux polluées de la Rothay, son principal affluent, meurent rapidement. Le nombre moyen de *Bact. coli* dans le bras principal après qu'il ait reçu la vidange des égoûts de la ville est de 43.000 par 100 cm³; il reçoit la Brathay à 500 m de son embouchure et n'en contient plus que 15.000 par 100 cm³; en un point du lac distant de 170 m de l'embouchure de la rivière il est de 1.400 par 100 cm³, à 400 m, 330 par 100 cm³, et à 3.500 m, 20 par 100 cm³ (figure 8).

Les activités des bactéries de l'eau ne sont pas très claires. Elles peuvent se multiplier dans le milieu peu nutritif du lac et, généralement, leur développement est en relation approximatif avec la concentration en produits chimiques dissous et la fécondité du lac. De telles bactéries peuvent appartenir par leur mode de nutrition à deux catégories différentes quoiqu'ayant certains rapports. Les bactéries autotrophes prennent leur carbone au gaz carbonique dissous et leur énergie à l'oxydation de substances minérales telles que l'azote, le soufre ou le fer. Les bactéries hétérotrophes ont besoin du carbone des matières organiques déjà formées. Certains organismes ont un type strict de nutrition; d'autres, non. Pourvu qu'il y ait de l'azote et du phosphore ainsi que de toutes petites quantités d'autres substances essentielles, le développement des bactéries est limité, d'une part par la quantité et la possibilité d'utiliser des matières organiques, et d'autre part, par l'abondance de substances inorganiques oxydables. Il résulte des travaux effectués qu'une partie des matières organiques arrachées par l'eau aux versants est promptement utilisable et rapidement décomposée; mais le reste est très résistant aux attaques des bactéries et par conséquent long à détruire. La simple addition de substances minérales appropriées ne provoque pas nécessairement une augmentation de croissance des bactéries autotrophes, car d'autres conditions spécifiques apparaissent comme nécessaires. On s'aperçoit, par exemple, de mieux en mieux que la nitrification est un phénomène de surface et par conséquent dépend de la présence de matière particulaire.

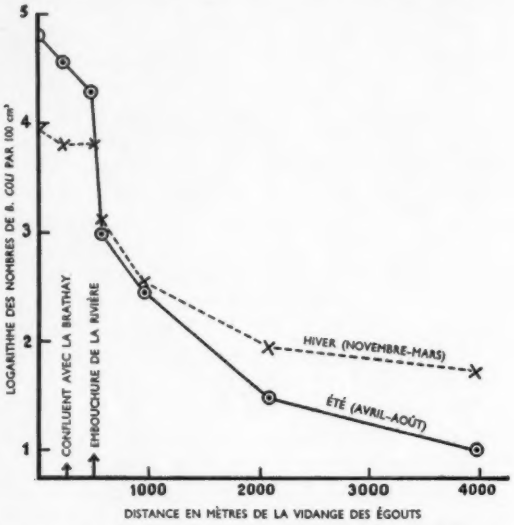


FIGURE 8 – *Nombre hebdomadaire moyen de* Bacterium coli, *indiquant la pollution fécale, trouvé à différentes distances du point auquel les égoûts se déversent dans la Rothay (pointillé, mois d'hiver; ligne continue, mois d'été).*

On sait très peu de choses sur les relations entre les bactéries d'une part et les plantes et les animaux du plancton d'autre part, mais il y a des constatations suffisamment évidentes pour autoriser certaines hypothèses. Les algues étant l'origine la plus importante des matières organiques dans l'eau d'un lac, sont une source importante de nourriture pour les bactéries; certaines de leurs parties telles que le squelette des diatomées peuvent être complètement inutilisables, mais d'autre part, les polysaccharides complexes trouvés dans les capsules glucoprotéiques entourant certaines espèces d'algues sont immédiatement

utilisables et peuvent être décomposées. La présence de substances pectiques dans des types particuliers d'algues peut être mise en évidence par l'analyse chimique ou la méthode colorimétrique. Ainsi, il semble qu'une partie de la cellule des algues mortes peut être rapidement décomposée par les bactéries de l'eau. Les opérations relatives aux matières organiques plus résistantes se déroulent après que la cellule repose dans le fond du lac. Il y a en outre la possibilité d'une symbiose ou d'un parasitisme entre les algues et les bactéries. On a aussi supposé que certaines algues pouvaient excréter des acides aminés et si on pouvait en obtenir la preuve, il semblerait que les bactéries trouveraient dans le voisinage de la cellule d'une algue les meilleures conditions pour leur développement. Il y a une troisième hypothèse: c'est qu'il y a des types de bactéries qui ont besoin d'un point d'attache pour se développer et qui peuvent temporairement s'accomoder de cellules d'algues mortes. L'expérience montre clairement qu'il y a une beaucoup plus grande pullulation des bactéries sur un échantillon de plancton que dans une quantité équivalente de l'eau du lac d'où il a été extrait. De simples expériences de laboratoire montrent que de nombreuses espèces animales telles que les rotifères, qui se nourrissent de petites particules, ingèrent des cellules de bactéries en grande quantité.

De l'eau, du plancton et de la vase, il semble probable que ce soit la surface de la vase d'un lac qui soit, de beaucoup, l'endroit le plus actif pour la vie microbiologique. La numération des bactéries dans la vase est du même ordre de grandeur que dans le sol des jardins et on a trouvé que lorsqu'il y a assez d'oxygène dans la couche d'eau immédiatement supérieure, le processus biochimique habituel qui se déroule normalement dans le sol, se déroule également dans la vase. Ce n'est pas étonnant si l'on se rappelle qu'à la surface de la vase, se déposent constamment les cellules du plancton en décomposition, le limon amené par les eaux, des matières inorganiques et souvent, au début de l'hiver, des dépôts appréciables de feuilles. Il est évident que la nature du terrain environnant, qu'il soit boisé, cultivé ou rocheux, ainsi que la densité et la nature du plancton dans l'eau affectent directement la nature des sédiments. Dans des conditions aérobies, les matières organiques sont décomposées en ammoniaque et l'ammoniaque est oxydée en nitrate. Les composés organiques soufrés sont oxydés et deviennent des sulfates et le phosphore inorganique est régénéré sous forme utilisable. Dans les lacs profonds tels que celui de Windermere, les conditions aérobies sont toujours maintenues, et on admet que les variations des réactions biochimiques sont gouvernées par la température, l'écart approximatif entre les saisons étant seulement de 4–8° C. Dans certains lacs peu profonds en Angleterre, les couches les plus basses de l'hypolimnion pendant la saison chaude peuvent ne plus contenir du tout d'oxygène et la couche de vase peut diminuer; dans les lacs exceptionnellement profonds, ces conditions peuvent être permanentes. Un tel état de choses revient à transformer les nitrates en ammoniaque, les sulfates en hydrogène sulfuré et les sels ferriques en sels ferreux solubles. Si le lac est utilisé comme réservoir d'eau potable et si l'ordre des couches est perturbé par une violente tempête d'automne, ces composés chimiques peuvent se mélanger avec l'eau des couches supérieures du lac et il peut en résulter momentanément une fourniture d'eau désagréable au goût. Il semble vraisemblable qu'un développement rare et mystérieux de la croissance de certaines bactéries — généralement autotrophes — dans un lac, soit dû a des phénomènes de réduction dans l'hypolimnion. Un exemple unique d'un tel phénomène a eu lieu à l'automne de 1946. Un grand réservoir contenant le stock d'eau javelisée d'une ville industrielle présentant un haut degré de pureté chimique et bactérienne, tournait au pourpre. On a découvert que la couleur était due à la présence d'un grand nombre de bactéries autotrophes capables d'oxyder le soufre, ce qui produit une couleur pourpre à l'intérieur de la cellule. Un aspect particulièrement mystérieux de la question a été le problème de l'origine de la quantité relativement importante de soufre capable de fournir l'énergie nécessaire au développement d'une si grande quantité de cellules bactériennes.

La stérilisation de l'eau à l'aide de substances chimiques n'a pas tranché tous les problèmes posés par la présence des bactéries et que le technicien a à résoudre. L'obstruction des conduites, due au développement des bactéries ferrugineuses, la production de limon, la corrosion, la présence de goûts et d'odeurs indésirables, constituent des difficultés typiques. L'opération consiste avant tout à chercher des renseignements relatifs à la nourriture des organismes responsables et à appliquer les connaissances acquises pour éviter l'établissement de conditions favorables à leur croissance.

Quelques symboles des alchimistes

DENIS I. DUVEEN

On peut étudier l'alchimie à deux points de vue: soit comme un ensemble de techniques primitives, d'où est née la chimie moderne, soit comme un système de philosophie mystique qui a duré presque 2.000 ans. Dans les deux cas, toutefois, l'importance du rôle des symboles est évidente et les occasions ne manquent pas à l'historien d'exercer ses talents d'interprétation et d'identification. Mr Duveen décrit quelques exemples caractéristiques.

Dans la plupart de leurs travaux, les alchimistes tentèrent volontairement de confondre les non-initiés et de cacher au public leur *modus operandi* par l'emploi de symboles. C'est ainsi que l'on représente graphiquement les sept métaux connus par les symboles astrologiques des sept planètes (en y comprenant la lune et le soleil). D'autres symboles variés représentent les opérations chimiques. Parfois leur signification réelle est relativement évidente. Ainsi, un troupeau d'oiseaux s'élevant vers le ciel indique la sublimation, ou l'évaporation et, s'ils descendent vers la terre, la précipitation ou la condensation.

Dans cette représentation imagée, le symbolisme change souvent. Cependant, un roi vêtu de rouge représente l'or, et une reine en blanc l'argent. Un lion jaune représente parfois les sulfures métalliques jaunes, un lion rouge symbolise le sulfure de mercure naturel (cinabre), un lion vert est employé pour les sels de cuivre ou de fer, un aigle ou un corbeau pour les sulfures métalliques noirs, une salamandre pour le feu, un lion ailé pour le mercure, et un lion sans ailes pour le soufre, un lion vert pour le mercure « philosophique ». La dissolution de l'or ou de l'argent par un acide se représente par un lion vert qui dévore le soleil ou la lune, respectivement (voir figure 2). Tandis que l'antimoine utilisé à purifier l'or deviendra un loup, le plomb, qui sert à purifier l'argent, était représenté par Saturne. La mort d'un dragon, tué par le soleil et la lune, représente la combinaison de l'or et de l'argent. La description symbolique d'opérations purement chimiques s'inspire souvent d'allégories comme la mort, la sépulture et la putréfaction, et le mariage d'un homme et d'une femme représente la

FIGURE 1 – *Explication de symboles alchimiques. (Extrait d'un manuscrit alchimique en Bas-Allemand du début du XVIIIème siècle.)*

FIGURE 2 – *Le lion vert dévorant le soleil.* (*Extrait d'un manuscrit alchimique en Bas-Allemand du début du XVIIIème siècle.*)

365.

LIBER SECVNDVS PHILOSOPHIÆ REFORMATÆ, DE AVTHORITATIBVS PHILOSOPHORVM CHYMICORVM.

A44 MOTI-

FIGURE 3 – *Un adepte instruisant son élève.* (*Extrait d'un exemplaire colorié à la main de la* Philosophia Reformata *de Mylius* (*Francfort*, 1622).)

FIGURE 4 – *Enigme picturale représentant la synthèse alchimique.* (*Tiré de l'ouvrage* Les Douze Clefs de Philosophie de Frère Basil Valentin (*Paris*, 1659).)

FIGURE 5 – *Représentation symbolique de la décoction des divers ingrédients pour la préparation de la pierre philosophale. (Extrait d'un manuscrit alchimique en Bas-Allemand du début du XVIIIème siècle.)*

FIGURE 6 – *Appareils alchimiques et symboles des quatre Evangélistes. (Tiré d'un manuscrit enluminé du début du XVIIème siècle du Livre de la Sainte Trinité.)*

perfection des substances. Sur la figure 3, extraite d'un exemplaire personnel de l'auteur, de la *Philosophia Reformata* de Mylius (Francfort, 1622), avec gravures du temps, coloriées à la main, on voit deux hommes bavarder sous l'arbre de la science universelle. On distingue là, clairement, les quatre éléments (héritage d'Aristote): un homme et un lion symbolisent la terre, un dragon, le feu (tous deux en bas à gauche), une femme sur un dauphin dans la mer, l'eau, et un oiseau, l'air. Ces deux derniers symboles sont en bas, à droite. Quant aux deux personnages, c'est Senior, l'adepte qui instruit Adolphus l'étudiant, auteur du livre. Les sept cercles autour de l'arbre symbolisent les étapes ou opérations dans l'accomplissement du *magnum opus*, et la couleur propre à chaque étape, car la couleur a une signification très importante dans le travail alchimique (cf. Hopkins: *Alchemy, Child of Greek Philosophy*, New York, 1934). Voici les symboles qu'on distingue autour de l'arbre, en partant du cercle en bas à gauche: (1) un corbeau et un crâne sont l'image de l'opération de mortification et de la couleur noire; (2) un couple de corbeaux représente la distillation; (3) trois corbeaux symbolisent la sublimation; (4) deux oiseaux et une couronne représentent l'accomplissement de l'*opus minor* et la couleur blanche; (5) deux oiseaux et un arbre indiquent le règne de Mars; (6) une licorne et un buisson de roses représentent la couleur rouge; (7) enfin on voit le terme du *magnum opus* et la préparation finale de la pierre philosophale par un enfant nouveau-né.

Les alchimistes dissimulaient aussi leurs secrets sous des énigmes. On peut citer, comme particulièrement simple, celle attribuée à l'alchimiste célèbre qui se cache sous le pseudonyme de Basil Valentin (voir figure 4). On a tiré celle-ci de l'ouvrage *Les Douze Clefs de Philosophie de Frère Basil Valentin* (Paris, 1659).

Ce dessin est une synthèse complexe de la pensée alchimique. Les planètes dans le firmament exercent leur influence sur l'union importante des principes mâle et femelle symbolisés ici, comme souvent, par la lune et le soleil. Le calice, comme la corne d'abondance, symbolise le mercure. Parmi les symboles du demi-cercle inférieur, remarquons l'aigle à deux têtes — c'est le vent, ou l'air —, et le lion, la terre. L'orbite représente la pierre philosophale, et l'étoile à sept branches se rapporte aux sept métaux connus de la terre, auxquels correspondent sept planètes dans les cieux.

Les mots *Visita interiora terrae, rectificando inveries occultum lapidem* sont particulièrement intéressants. Ils forment un acrostiche, leurs lettres initiales donnant le mot *vitriol*; on s'en est servi pour alléguer que Basil Valentin avait découvert l'acide sulfurique !

Les alchimistes employaient beaucoup les anagrammes; la plupart sont aujourd'hui plus ou moins inextricables. Citons par exemple celui que l'on trouve, avec dix pages de commentaires par Nicolas Barnaud, dans le *Theatrum Chemicum* (vol. III, p. 744): « *Aelia Loelia Crispis* est mon nom. Je ne suis ni homme, ni femme, ni hermaphrodite, ni vierge, ni jeune, ni vieux. Je ne suis ni prostituée ni chaste, mais toutes ces choses ensemble. Je ne suis tué ni par la faim, ni par le fer, ni par le poison, mais par toutes ces choses à la fois. Je n'habite ni le ciel, ni la terre, ni l'eau, mais partout à la fois: *Lucius Agatho Priscius*, qui n'est ni mon mari, ni mon amant, ni mon esclave, m'a fait bâtir, sans peine, sans joie, sans en savoir la destination, ce monument, qui n'est ni une pyramide ni un sépulcre, mais les deux à la fois. C'est un tombeau sans cadavre, et un cadavre qu'aucun tombeau n'abrite. Le corps et le sépulcre ne sont qu'un ». Barnaud indique dans son commentaire qu'il s'agit là de la pierre philosophale.

On voit sur la figure 5 un symbole associé d'ordinaire à un traité appelé *Die Hand der Philosophen*, attribué à Johannes Isaacus Hollandus. L'illustration vient d'un manuscrit du début du XVIIIème siècle. C'est la décoction des ingrédients nécessaires à la préparation de la pierre philosophale. Dans ce cas particulier, l'auteur, plein de prévenances, nous a pourvu d'un diagramme clair pour expliquer la signification chimique de chaque symbole, comme on peut le voir sur la figure 1, tirée du même manuscrit. On se fera une juste idée du genre de manipulations auxquelles se livrait Hollandus, en lisant la traduction d'une de ses recettes pour accomplir l'*opus minor*, préparation d'un élixir pouvant transmuer les métaux vulgaires en argent:

« Prenez une once d'argent fin, dissolvez-la dans l'*aqua fortis* commune, puis ajoutez-y quatre onces de mercure sublimé, dans un pot de verre. Placez sur du sable chaud et laissez chauffer, faites-le ensuite tremper dans l'*aqua fortis* dans laquelle l'argent a été dissous jusqu'à ce qu'il l'ait absorbée; puis laissez refroidir. Broyez ce mercure très finement sur une pierre dure. Laissez-le se dissoudre de lui-même sur la pierre, puis coagulez à nouveau sur un petit feu dans un verre. Frottez-le à nouveau contre la pierre, et

redissolvez-le comme précédemment, et ainsi sept fois de suite. De cet élixir projetez une once sur trente onces de cuivre préparé et bien fondu. Vous aurez ainsi de l'argent fin, résistant à toutes les épreuves».

En plus du symbolisme dont ils cachaient leur propre travail, les alchimistes dépassaient les limites de l'extravagance dans l'interprétation hermétique d'auteurs anciens comme Homère et Virgile. Le travail le plus intéressant du fameux Michael Maier, l'*Atlanta Fugiens* (Oppenheim, 1617), est un essai compliqué d'explication de la légende d'Atalante et des pommes d'or par une analogie hermétique. Il ne suffit pas, cependant, aux hermétistes, de découvrir des allégories alchimiques dans des légendes comme les voyages d'Ulysse. Ils allèrent plus loin, et en conçurent de nouvelles et d'originales, comme *L'Histoire Véritable, ou le Voyage des Princes Fortunéz* de Béroalde de Verville (Paris, 1610).

Les noms mêmes que les alchimistes donnent à leurs brochures révèlent souvent les égarements de leur imagination, ainsi: *La Quintessence de l'Alchimie, Le Char Triomphant de l'Antimoine, L'Amphithéâtre de la Sagesse Eternelle, La Porte Ouverte au Palais Fermé du Roi.*

Celui qui étudie la littérature alchimique médiévale ne peut manquer d'être impressionné par les invocations à Dieu, fréquentes et apparemment sincères, dont s'ornent ces ouvrages. On peut suivre les rapports entre alchimie et religion beaucoup plus loin dans l'antiquité. On les trouve dans des écrits tant Grecs qu'Arabes. Il y eut de profonds rapports entre alchimie et christianisme. Citons ainsi Arnald de Villanova, le pseudo Raimundus Lullus (on convient en général que l'essentiel de la littérature alchimique attribuée à Lullus n'a jamais été l'œuvre de l'illustre Majorquin, mais celle d'un auteur postérieur), Petrus Bonus et George Ripley, parmi les grandes autorités en alchimie, qui illustraient fréquemment l'alchimie par des allégories chrétiennes.

Le *Livre de la Sainte Trinité*, écrit probablement initialement à l'époque du concile de Constance (1414–18), est un bon exemple de l'application allégorique de la Passion, de la Crucifixion et de la Résurrection du Christ, à la réalisation du *magnum opus* de l'alchimie. L'auteur a traité ailleurs, plus complètement, ce symbolisme particulier (*Ambix*, vol III, No. 2), mais la figure reproduite ici (figure 6) en donnera une juste idée. Sous le dessin de quatre récipients chimiques destinés chacun à une opération particulière, on trouve les symboles conventionnels des quatre évangélistes. Ces derniers dessins représentent en même temps les quatre éléments, les quatre étapes principales du travail, et les quatre vertus cardinales.

On a déjà parlé de la grande importance de la couleur pour les alchimistes. En ce sens, ils divisaient d'ordinaire leur travail en trois sections placées chacune sous une certaine couleur: le noir, le blanc et le rouge. Les opérations conduisant à la pierre philosophale passaient régulièrement par ces trois couleurs, et on rencontre souvent le symbolisme correspondant. Ainsi le plomb (Saturne) symbolise le noir, l'argent (la lune), le blanc, et le cuivre, le rouge. On indique parfois quatre couleurs au lieu de trois. Elles seront alors symbolisées par les quatre saisons de l'année, comme dans la septième clé de Basil Valentin (*Les Douze Clefs de la Philosophie*, Paris, 1659). Elles peuvent aussi être représentées par quatre oiseaux, le corbeau symbolisant le noir, le cygne, le blanc, le paon, le violet, et le phœnix, le rouge (voyez le pentacle associé à la neuvième clé de Basil Valentin, *op. cit.*).

En plus de dessins symboliques, les alchimistes ont représenté diverses matières par des signes; on en voit quelques-uns sur la figure 7. Ils rendent l'analyse de leurs procédés particulièrement difficile au chimiste moderne. Il n'y a aucune uniformité dans le sens exact d'un signe particulier, et souvent un très grand nombre de symboles différents désigne le même produit.

Quand on veut connaître et juger sérieusement les alchimistes et leurs travaux, il est essentiel de se souvenir qu'ils appartenaient à des classes très distinctes. Il y eut les alchimistes expérimentateurs, précurseurs des chimistes modernes; ils s'intéressaient à l'étude des propriétés des métaux et d'autres corps simples et composés, et aux méthodes et aux appareils les mieux adaptés à leur traitement. Ces hommes ont fait et rapporté des découvertes scientifiques nombreuses et importantes; citons dans ce groupe Libavius, Glauber, Ulstadt, van Helmont et Croll. Une section plus petite se compose des chimistes spéculatifs qui croyaient que l'objet de l'Art Hermétique était plus spirituel que matériel, et sa signification voilée sous l'allégorie et illustrée symboliquement. L'objet réel de leurs études était l'âme humaine et leur but était la régénération spirituelle de l'humanité, qu'ils voulaient guider vers son salut. On peut mentionner, comme représentants typiques de cette catégorie: Khunrath, Vaughan, Fludd et Maier. Un

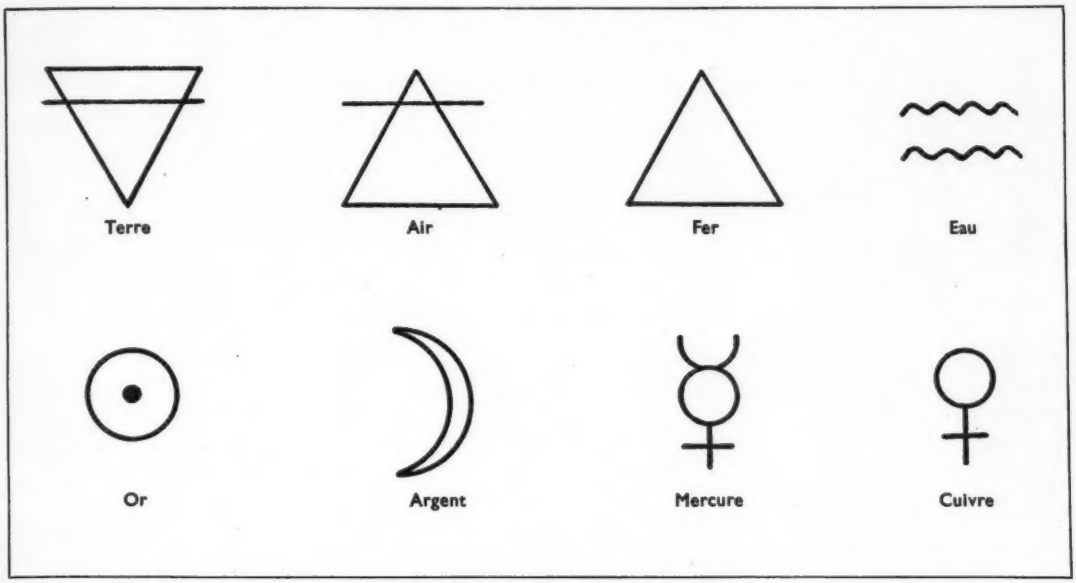


FIGURE 7 – *Quelques symboles alchimiques.*

troisième groupe, toutefois, bien que restreint, discrédita grandement l'alchimie. C'étaient les bateleurs mercenaires, les empiriques et les charlatans. Ils surent amener des princes, et d'autres, à leur donner de grandes sommes d'argent, dans l'espoir de recevoir le secret de la pierre philosophale, qui opérait la transmutation en or de tous les métaux vils. De ces hommes, Honauer, Caetano, Bragadino et Cagliostro sont les plus fameux et leurs supercheries nous ont été révélées en fin de compte en détail. Comme exemple de méthode d'imitation de l'or, et du destin final de l'opérateur, nous citerons l'histoire de M Longeville, comme la raconte Boyle Godfrey dans ses *Miscellanea vere Utilia, or Miscellaneous Experiments and Observations on Various Subjects* (Londres, sans date, mais autour de 1735):

« *Le Procédé par lequel Longeville Imita l'Or, ce pour quoi les Hollandais le firent bouillir vivant dans l'Huile, était ceci* —

« Prenez du Cuivre quatre onces, calcinez-le avec du soufre commun, jusqu'à ce qu'il soit réduit à une once un quart, ce qui doit être fait par plusieurs chauffages au rouge, et quand il devient vert, c'est assez, puis prenez ce cuivre calciné et une once d'Argent et une demi-once de Borax, fondez-les bien ensemble, puis coulez-le hors du creuset et détachez la scorie, fondez-le encore avec autant de Borax, et détachez la scorie comme avant, en recommençant une troisième fois, puis fondez-le tout seul sur un feu vif, en ajoutant alors deux onces d'Or, maintenez liquide quelque temps, ajoutez du Borax et maintenez une heure, puis coulez en lingots, en répétant la liquéfaction jusqu'à ce que le Borax reste blanc, puis fondez cet Or artificiel tout seul, et coulez-y des grains de Nitre, jusqu'à ce qu'il soit surmonté par une bonne grande croûte, puis coulez en lingots et c'est terminé.

« Voici la recette, telle que me l'a communiquée un Professeur Allemand d'une Université.

« Quelles fautes cet homme a commises en son temps, je n'en sais rien, mais je déplore sa mort si ce fut pour avoir fabriqué de l'Or, car ce procédé en est, je pense, bien loin; toutefois, quoiqu'il en soit, un de mes amis connaît un Monsieur qui a vu Longeville précipiter un appareil en bois creux dans un chaudron d'huile bouillante, dont il était si près, que de l'huile éclaboussa ses vêtements ».

La voûte en maçonnerie

A. J. S. PIPPARD

La voûte à voussoirs est une des plus anciennes formes d'architecture. Cependant le calcul de sa résistance et de sa stabilité a posé un problème d'une difficulté inattendue aux mathématiciens, aux physiciens et aux ingénieurs. En fait, peu avant le début de la guerre de 1939, on ne savait encore que peu de choses sur son comportement sous des charges accrues jusqu'à l'effondrement final. Le professeur Pippard décrit des expériences qui jettent sur le problème une lumière nouvelle.

La voûte faite avec des blocs de pierre en forme de coins ou voussoirs, est une des plus anciennes et des plus belles qu'aient construites les ingénieurs. Il aurait été surprenant que les problèmes de résistance et de stabilité qui s'y rapportent, aient laissé indifférents mathématiciens et ingénieurs; en fait, les explications nombreuses et variées proposées sur son comportement sous une charge, et les discussions qu'elles ont soulevées, constituent un chapitre intéressant de la théorie des constructions. Les premières recherches rapportées sont l'œuvre de mathématiciens de la seconde moitié du XVIIème siècle. Comme on peut s'y attendre, les premières explications utilisent les propriétés du plan incliné et du coin. On suppose les faces portantes des voussoirs parfaitement polies, et l'effondrement de la construction dû au glissement des faces les unes sur les autres. En 1801, Atwood expérimenta sur des voussoirs en métal poli. Rennie, au début du siècle dernier, s'appuya plus ou moins sur ces hypothèses pour construire ses ponts. Comme développement naturel, on étudia le problème dans l'hypothèse opposée, où les surfaces des voussoirs sont parfaitement rugueuses, si bien qu'il n'y a pas de glissement possible; l'effondrement n'est alors possible que par rotation de certains des voussoirs sur leurs arêtes, ainsi que le démontra expérimentalement Danisy. Comme on le verra plus loin, c'est là un premier pas vers l'explication correcte de la mécanique de l'effondrement; mais Couplet, qui fit cette analyse, se trompa sur la localisation des joints de rupture.

En même temps que cette forme de la théorie du coin on développa une autre ligne d'approche, fondée sur les propriétés de la chaînette. L'initiateur en fut Robert Hooke, qui inclût, en 1676, dans un résumé d'inventions qu'il voulait publier plus tard, ce qui suit: « La vraie forme Mathématique et Mécanique pour tout genre de voûtes pour construction, avec les véritables calculs nécessaires dans chaque cas. Un problème qu'aucun écrivain d'Architectonique n'a jamais abordé, encore moins résolu. abcccddeeeeefggiiiiiiiillmmmmnnnnnooprrsssttttttuuuuuuuvx ».

Cette collection de lettres est un anagramme, révélant sous une forme cachée une nouvelle découverte. La solution en est: *Ut pendet continuum flexile sic stabit contiguum rigidum inversum*, c'est-à-dire: « De même que la (corde) flexible continue pend vers le sol, de même (l'arche) rigide contigüe se tient à l'envers ». Il semble que ce soit la première indication de l'arceau linéaire, qui a eu tant d'influence sur le dessin de ce type de structure jusqu'à aujourd'hui. Ce fut la base du travail de Moseley en Angleterre. Des mathématiciens et des ingénieurs français, comme Navier, Clapeyron, Lamé et Boistard, apportèrent une contribution importante au développement de la théorie. En 1826, Navier démontra que si l'arceau linéaire coupe un joint entre les voussoirs à un des points qui divisent sa hauteur en trois, le joint serait près de s'ouvrir. Apparemment, on ne tint aucun compte du premier énoncé de la règle du tiers moyen, comme on l'a appelée plus tard; en tout cas, Méry la réintroduisit en 1840 comme une nouveauté. L'essentiel des travaux des auteurs français resta longtemps inconnu en Angleterre. Théoriciens et ingénieurs anglais cherchaient des explications de leur côté. Les contributions de Moseley en 1835 et de Snell en 1846 furent importantes. Ce dernier s'approcha de près d'une explication correcte de la cause ultime de l'instabilité de la structure, par suite de points de pivotement entre certains voussoirs. Toutefois, son traitement comporte des erreurs essentielles, et l'application en est strictement limitée.

C'est à peu près à ce moment là que Robison s'intéressa à l'écroulement d'un vrai pont en pierres plutôt molles, dû, pensait-on, à une surcharge excessive du sommet. Quinze jours avant l'effondrement, on put observer de mauvaises

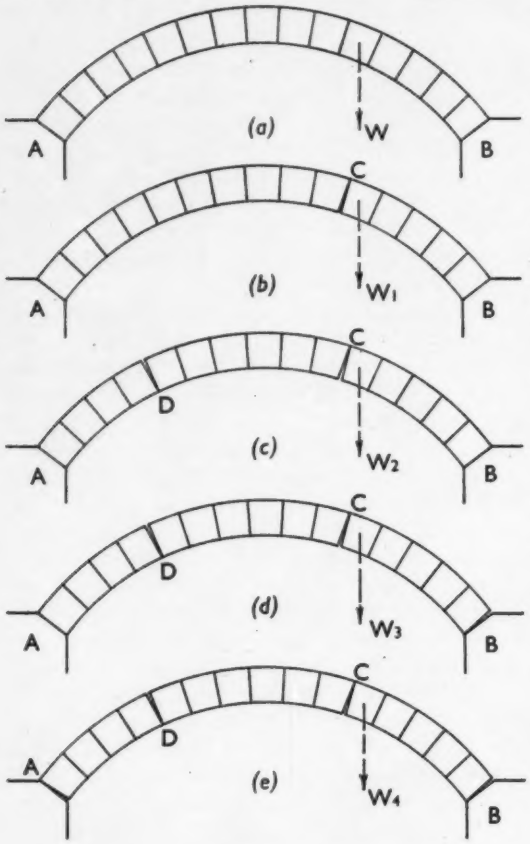
fissures des pierres, à 3 m de chaque côté du sommet, et aussi à 6 m d'un côté. Les maçons pensaient que l'écroulement final se produirait en ces points, probablement par écrasement de la pierre. L'effondrement eut, en fait, un caractère bien différent; des segments de la voûte pivotèrent autour du sommet à environ 5 m de chaque côté du centre, et aussi, dans le voisinage des butées. Robison put, dit-on, reproduire le même type d'effondrement avec un modèle fait de voussoirs en craie.

Toutefois, il semble qu'on ait négligé ces indications très claires sur la ligne à poursuivre; on s'intéressa une fois de plus à la chaînette renversée ou arceau linéaire. Rankine y apporta un support puissant, et accepta comme règle dans tout projet, que l'arche linéaire doit passer partout à l'intérieur du tiers moyen de la structure, pour éviter les tensions entre les joints de mortier. Il est clair, cependant, qu'il y a un nombre infini de chaînettes qui peuvent supporter un système de poids donné, différant entre elles en longueur totale, et dans la valeur de la composante horizontale des réactions. Il y aura donc une infinité d'arches linéaires qui satisferont au critérium du tiers moyen. Le choix correct souleva nombre de controverses. On ne se rendit compte que beaucoup plus tard qu'il n'y avait rien d'arbitraire, mais que chacune dépendait de certaines hypothèses tacites sur le mouvement des butées. Si celles-ci doivent rester fixes, comme on doit l'espérer normalement, il n'y a qu'une arche linéaire possible; toute autre entraîne des mouvements de translation et de rotation d'une butée par rapport à l'autre, pour satisfaire aux conditions essentielles du problème. Une nouvelle voie d'approche fut fournie par les théorèmes sur l'énergie de tension par Castigliano en 1879, et dans son livre à cette époque, il analyse le problème d'une arche en maçonnerie par le principe de l'énergie de tension minima, en assimilant d'abord la voûte à un arceau élastique. Quand il en résulte des tensions, on suppose que les portions de l'arche soumises à ces tensions sont ineffectives, on les élimine, et on analyse la structure qui reste. On répète le procédé jusqu'à ce qu'on obtienne une structure sans tension, qui sert à calculer les efforts. On pouvait objecter à la théorie de Castigliano qu'il n'était pas certain qu'il y ait une relation linéaire entre charge et déplacement. Ce point-là fut résolu de façon satisfaisante au cours d'essais faits sur des arches de grandeur réelle par la Société Autrichienne des Ingénieurs en 1890, et beaucoup plus tard, par des essais du *Department of Scientific and Industrial Research* en Angleterre, sur un certain nombre de ponts routiers réels. Il semble que les ingénieurs autrichiens aient conclu en plus, que par suite de la proportionnalité entre charge et fléchissement, l'arche se comportait comme un arceau solide. Cette déduction ne se justifie pas pour une simple raison de proportionnalité, car, par exemple, on retrouverait la même proportionnalité dans une structure à trois charnières. Mais le rapport entre les quantités mesurées serait différent.

Ces diverses hypothèses rapidement passées en revue sur le mode d'effondrement, par glissement, si les voussoirs sont lisses, par pivotement, s'ils sont parfaitement rugueux, par écrasement de la pierre sous la pression, ou par rupture du mortier sous la tension, ne s'excluent pas mutuellement, et tous les types sont possibles suivant les conditions. On se garantit aisément contre un glissement. A part cela, on n'avait pas encore compris correctement, en 1936, le comportement d'une voûte à voussoirs sous une charge croissante jusqu'à l'écroulement final. Il sembla intéressant de suivre une voie d'approche expérimentale.

C'est pourquoi, en 1936, l'auteur du présent article et certains de ses collègues ont entrepris des expériences pour élucider le comportement de la voûte à voussoirs. On a fabriqué des segments d'arches expérimentales, avec une portée de 1,2 m et une flèche de 45 cm. Les voussoirs étaient en acier soigneusement travaillé. Une des arches expérimentales avait ses extrémités assujetties à des charnières, et l'autre avait les siennes supportées par des sommiers. L'une des extrémités de l'arche étudiée était fixe, mais l'autre, montée sur un équipage avec aussi peu de frottement que possible, était maintenue par une barre d'acier portant un appareil optique délicat de mesure des contractions. On pouvait ainsi mesurer la charge de cette barre et, en compensant l'extension élastique de la barre par un tourniquet, mesurer directement la composante horizontale de la réaction du support libre. On supposait que l'arche supportait un poids de terre qui remplissait les tympans, formant la surface horizontale d'une route. Cette charge était matérialisée par des boîtes métalliques, lestées de façon appropriée, suspendues aux voussoirs. On pouvait en plus appliquer à chaque voussoir une charge ponctuelle variable.

Tout d'abord, on monta comme ci-dessus un arceau solide d'acier tendre de mêmes dimensions que l'arche à voussoirs. Avec un poids-mort constant, on mesura la valeur de la poussée, ou



composante horizontale de la réaction pour une série de charges ponctuelles appliquées successivement à chaque voussoir. Cela permit de tracer une courbe donnant la poussée par charge unitaire en un point quelconque de la portée de l'arche. On installa alors à la place de l'arceau solide une arche à voussoirs. On répéta l'expérience, et l'on trouva que jusqu'à une certaine charge limite, dépendant du point d'application, les résultats étaient les mêmes que pour l'arceau solide. On avait donc établi, que, dans un certain domaine, c'est-à-dire, au-dessous d'une certaine charge limite, l'arche à voussoirs se comporte exactement comme un arceau solide. On montre facilement que la charge limite est celle qui produit un effort de traction dans un joint adjacent à son point d'application, et réduit par suite la surface portante des voussoirs à cette section. On étudia alors de plus près le comportement d'une arche lorsqu'on applique une charge graduellement croissante à un des voussoirs. Un diagramme illustrera au mieux les résultats obtenus.

On voit sur la figure (*a*) une arche à voussoirs avec son remplissage de terre, et en plus, une charge appliquée à un voussoir particulier. Quand cette charge s'accroît, la poussée horizontale en *A* s'accroît également. Si *W* est faible, la poussée est pratiquement identique à celle d'un arceau solide de même taille, avec les mêmes butées. Pour une valeur W_1, le rapport de la poussée à la charge change, avec formation d'un point de pivotement en *C*. L'arche se comporte maintenant comme deux sections solides, *AC* et *BC*, assujetties ensemble en *C*, comme on le voit en (*b*). Si on permet aux supports de s'écarter légèrement, on peut voir clairement que le « pivot » est dû à la formation d'une charnière entre deux voussoirs adjacents en *C*. Le nouveau rapport de la poussée à la charge se maintient quelque temps, mais pour une charge W_2, apparaît un nouveau changement dû à la formation d'une seconde charnière virtuelle en *D* (figure (*c*)). Mais cette charnière est sur l'intrados, ou partie inférieure de l'arche, alors que la première était sur l'extrados, ou partie extérieure. L'arche consiste maintenant en deux sections solides, *AD* et *BC*, reliées par une troisième section *DC* qui leur est assujettie. Si l'on accroît encore la charge, pour une valeur W_3, le rapport de la charge à la poussée change encore, par suite de la formation d'une nouvelle charnière, à l'intrados en *B*. Il y a maintenant trois sections solides. L'une, *AD*, est encastrée en *A*, les deux autres sont en fait des sections jointes par des chevilles (figure (*d*)). Pendant ces transformations, il y a réduction progressive de l'excès de rigidité de la structure. L'arche initiale (*a*) a trois degrés de rigidité; on perd un degré à la formation de chaque charnière, si bien que (*b*) en a deux, (*c*) en a un, et (*d*) n'en a point, c'est-à-dire (*d*) est une structure simple, ou statiquement déterminée. Si on accroît encore la charge, il y a un effondrement soudain de l'arche pour une charge W_4, par suite de la formation d'une quatrième charnière en *A*, ce qui change l'assemblage en un mécanisme.

Ces expériences éclairent la mécanique de l'arche à voussoirs et montrent que la théorie de l'écroulement proposée par Snell en 1850, était, bien que raisonnable, quant à la base, insuffisante, et parfois erronnée.

Toutefois, une arche véritable ne se compose pas de voussoirs d'acier soigneusement travaillés reposant les uns sur les autres, mais est construite en maçonnerie avec des joints de mortier à la chaux ou au ciment. On a considéré comme

point fondamental dans les projets, depuis Rankine, que le mortier ne devait pas être soumis à des efforts de traction, et Rankine alla jusqu'à dire que si de tels efforts se développaient dans une arche en maçonnerie, la structure devenait instable. Les expériences citées précédemment montrent que la véritable instabilité n'apparaît que longtemps après la fissuration sous la tension du premier joint; mais on peut s'attendre à ce qu'un matériel de jointure influe beaucoup sur le comportement. Aussi a-t-on procédé à une deuxième série d'expériences où les voussoirs étaient des blocs agglomérés de granit ou de pierre à chaux, et où les joints étaient réalisés soit par un mortier faible à la chaux, soit par un mortier robuste au ciment.

Les arches de cette série étaient aussi des segments, de 3 m de portée, et de 75 cm de flèche. Le poids-mort était appliqué comme pour l'arche plus petite en acier. Les résultats généraux de ces expériences ont confirmé les résultats précédents, mais ont aussi montré que même un mortier faible à la chaux pouvait résister suffisamment à l'effort de traction pour retarder considérablement la formation de la première charnière virtuelle. Le mortier au ciment était bien plus efficace, et, en l'employant, on obtient une arche qui se comporte comme un arceau solide pour une gamme de charges bien plus vaste que si le mortier ne pouvait résister à aucune tension.

Des différences intéressantes ont également apparu entre les voussoirs de calcaire et de granit. Les premiers ont tendance à s'écraser et à se fendre à la formation des charnières virtuelles, mais le granit donna un matériau bien plus fort, et, combiné à un mortier au ciment, il réalise une structure dont le comportement s'accorde assez bien avec les calculs fondés sur les expériences avec les modèles idéalisés en acier.

La guerre a interrompu un nouveau groupe d'expériences. On n'avait considéré dans les essais que l'application d'un seul poids à la structure; un vrai pont est soumis à des charges répétées. Il était intéressant de voir si cela réduirait sérieusement la résistance finale. On a employé pour cela les arches de 3 m de portée avec des voussoirs en aggloméré, mais au lieu d'accroître une charge ponctuelle jusqu'à l'écroulement, on a appliqué et enlevé une charge fixe, par un levier basculant, à fréquence d'environ 65 par minute.

A la première fissure d'un joint en mortier, un circuit est coupé, et le moteur qui entraîne le levier à bascule s'arrête automatiquement. Le nombre de cycles de charge est inscrit sur un cylindre enregistreur.

On a fait un certain nombre d'essais avec la charge appliquée sur un voussoir particulier, en en faisant varier la grandeur. Après un million d'opérations sans rupture, on accroît la charge, et ainsi de suite jusqu'à l'écroulement. On a essayé des joints en mortier au ciment et à la chaux, mais on a dû interrompre le travail après une vingtaine d'essais, environ. Toutefois, on était déjà en mesure de conclure, que bien qu'une charge répétée cause plus de dommage qu'une application unique, une voûte en maçonnerie offre une marge de sécurité très supérieure à celle qu'on lui prête d'ordinaire, d'après les méthodes conventionnelles de calcul.

Revue des livres

DÉSINTOXICATION RELATIVE AUX COMPOSÉS ORGANIQUES

Detoxication Mechanisms, *par R. Tecwyn Williams. Pp.* 251. *Chapman and Hall Limited, Londres.* 1947. 16*s. net.*

L'étude du sort des substances organiques simples et complexes dans le corps humain a éveillé l'intérêt du pharmacologiste comme du chimiste biologiste. Les recherches faites pendant la seconde moitié du siècle dernier ont révélé les divers mécanismes par lesquels sont transformées les substances étrangères.

Plus récemment de nombreux produits nouveaux ont fait leur apparition en médecine, et bien que l'étude de leur métabolisme n'ait encore conduit à la découverte d'aucun type essentiellement nouveau de mécanisme de désintoxication, de nombreux faits intéressants en ont surgi. Aucun manuel étendu n'a encore été publié sur le sort des composés organiques dans le corps humain; le livre du Dr R. T. Williams vient donc à un moment opportun et comble un vide de la littérature. Le Dr Williams qui a apporté lui-même une contribution originale de valeur à la question qu'il passe en revue, a rendu un exposé clair et étendu des travaux, classiques et modernes, effectués sur le métabolisme des substances étrangères. Après une discussion générale des principaux modes de désintoxication et une partie historique intéressante, il donne un exposé systématique d'un grand nombre de substances organiques d'intérêt chimique ou biologique. Les travaux récents d'actualité, tels que le métabolisme des substances cancérigènes et les sulfamides, ainsi que la méthylation biologique, y sont compris. Sont indiquées également les implications plus générales pour la recherche biochimique. Il y a une vaste bibliographie. La

monographie du Dr Williams saura devenir, outre un livre de références utiles au spécialiste de toxicologie, de pharmacologie ou de biochimie, un ouvrage de valeur pour l'étudiant de chimie ou de médecine. E. CHAIN

L'ALPHABET

The Alphabet. A Key to the History of Mankind, *par David Diringer. Pp.* 608, *avec* 256 *figures. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres.* 1947. 50*s. net.*

Cet ouvrage, d'une envergure beaucoup plus vaste que son titre ne le suggère, couvre toute la question de l'écriture — facteur d'importance primordiale dans l'histoire de la civilisation. L'écriture confère la stabilité au savoir et subsiste tandis que la parole évolue.

L'auteur retrace, à partir des tout premiers signes et des premières figures symboliques, le développement de l'écriture à travers ses diverses étapes jusqu'à l'alphabet. L'alphabet idéal serait un signe distinct pour chaque son simple. On nous montre comment l'alphabet suit le drapeau, le commerce et la religion et avec quelle aisance il s'adapte pour réduire sous forme écrite tout idiome parlé.

Il paraît que l'alphabet fut inventé une fois pour toutes mais le lieu de l'invention demeure sujet à caution. Les inscriptions du Sinaï pourraient bien faire le lien avec les hiéroglyphes d'Egypte. Les Egyptiens connaissaient l'alphabet et utilisaient, en effet, un alphabet de 24 lettres. L'auteur déclare à tort qu'« ils ne l'employaient jamais sans déterminatifs » (p. 63) et classe leur écriture comme non-alphabétique parce que de nombreux signes supplémentaires étaient généralement utilisés; ces derniers facilitaient la tâche du lecteur puisque seules les consonnes étaient écrites. Il affirme que l'alphabet fut inventé par certains Sémites syro-palestiniens.

Des notes historiques de valeur, des illustrations en abondance et des bibliographies utiles ajoutent à l'intérêt de l'étude la plus vaste et la plus détaillée du sujet qui ait jamais été publiée. C'est là une histoire captivante.

R. W. SLOLEY

FORMATIONS PERMO-TRIASSIQUES

The Permo-Triassic Formations: A World Review, *par R. L. Sherlock. Pp.* 367, *avec* 15 *figures. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres.* 1948. 31*s.* 6*d. net.*

Il est en général relativement aisé de subdiviser une succession de roches sur une superficie délimitée quelconque, soit par l'étude des fossiles qu'elles renferment, soit même par celle des changements verticaux dans les caractères qu'elles présentent. Par contre, trouver une relation entre les subdivisions appropriées à une étendue avec celles d'une autre, surtout lorsqu'il s'agit de continents ou d'hemisphères différents, peut offrir, en raison des variations latérales de faune et de lithologie, une des plus grandes difficultés auxquelles le géologue puisse faire face. Les roches continentales déposées dans les conditions curieuses du Permo-Trias, et qui ne contiennent presque aucun fossile, offrent toutes ces difficultés sous une forme particulièrement aiguë, et la classification, ainsi que les corrélations du grès bigarré, ont toujours été une source de conflits. Tel a été pendant trente ou quarante ans l'un des sujets favoris du regretté Dr Sherlock et cette étude mondiale est son dernier apport à la controverse. Il soutient, en résumé, que le Système Permien, entre le Carbonifère et le Trias, est sans validité, et que toutes les roches ainsi désignées sur le globe entier appartiennent soit à l'âge Carbonifère supérieur, soit au Trias inférieur. Il n'est guère possible d'examiner ici en détail les arguments pour ou contre ce point de vue, mais il n'est peut-être pas déplacé de n'y voir que l'opinion d'une minorité. Le livre s'adresse essentiellement au spécialiste qui ne peut se permettre de l'ignorer, et non au lecteur ordinaire.

O. M. B. BULMAN

DE REVOLUTIONIBUS ORBIUM COELESTIUM

Nicolaus Copernicus. De Revolutionibus: Preface and Book I. *Traduit par MM les professeurs J. F. Dobson et S. Brodetsky. Royal Astronomical Society: Notes détachées, No.* 10. 1947. 3*s.* 6*d. net.*

Parmi les classiques de l'histoire des sciences encore non traduits en anglais, il n'y en a pas de plus remarquable que le *De Revolutionibus Orbium Coelestium* de Copernic. Il existe une traduction allemande moderne mais elle déforme le sens de l'original dans son titre même, en faisant allusion aux *corps* célestes au lieu des *sphères* célestes. Il est donc d'autant plus à propos que la *Royal Astronomical Society* ait repris la publication de ses intéressantes Notes détachées avec une traduction annotée de la Préface et du Livre I (en même temps qu'une note biographique, un portrait et fac-similé de la page d'introduction) par le regretté Professeur J. F. Dobson de Bristol et M le Professeur S. Brodetsky de Leeds. En raison de l'intérêt particulier de cette publication la Société a rompu avec la coutume de ne faire paraître ses Notes détachées que pour ses Associés et a rendu ce numéro accessible au grand public. Sa traduction a été manifestement effectuée avec grand soin, et la collaboration d'un érudit et d'un mathématicien permettent de lui accorder toute confiance. On note une légère erreur dans la note biographique de M le Professeur Dobson, selon laquelle Tycho Brahé aurait connu le premier *Commentariolus* « avant la publication » du *De Revolutionibus*. Du moment que cette dernière œuvre fut publiée en 1543 et que Tycho ne naquit qu'en 1546, c'est là une impossibilité. Il y a aussi une regrettable faute d'inattention dans le diagramme à la page 30 des notes du traducteur où, au lieu de l'orbite de la lune, on lit « l'orbite de Mars ». La traduction est, toutefois, dans l'ensemble parfaitement satisfaisante et nous nous faisons un devoir de remercier chaleureusement la Société d'avoir rendu cette œuvre accessible à tous.

H. DINGLE

CHIMIE ORGANIQUE PRATIQUE

A Text-Book of Practical Organic Chemistry, *par Arthur I. Vogel. Pp. xxiv* + 1012. *Longmans, Green and Company Limited, Londres.* 1948. 42*s. net.*

Le Dr Vogel, dont les ouvrages antérieurs sur l'analyse qualitative et quantitative sont bien connus, donne ici au profit de l'étudiant l'essence d'une expérience de quelque vingt années de recherches et d'enseignement en chimie organique. Après une brève étude de la théorie des méthodes générales, l'auteur consacre un cinquième de son livre, ou presque, à une discussion de la technique expérimentale avec des sections sur l'adsorption chromatographique et l'usage d'appareils à joints en verre dépoli interchangeables. La partie principale du livre donne des instructions détaillées et claires quant à 600 préparations organiques.

La valeur du livre se trouve réhaussée par l'addition d'une section sur l'analyse organique qualitative, ainsi que par plusieurs tables de constantes physiques de composés organiques. Ce volume saura trouver une place dans le laboratoire de tout professeur et de tout étudiant de la question.

LE MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

The Electron Microscope, *par V. E. Cosslett. Pp. viii + 128, avec 12 planches et 39 figures. Sigma Books Limited, Londres.* 1947. *7s. 6d. net.*

L'objet de ce petit livre est de servir d'introduction au microscope électronique et à son utilisation par le biologiste et l'industriel ne possédant pas de connaissances mathématiques ou physiques spéciales. L'ouvrage ne contient pas, en effet, de mathématiques et s'en tient à des figures pour illustrer les principes physiques qui entrent dans la construction et le maniement de l'instrument. On peut le recommander en toute sécurité à tous ceux qui désirent une description élémentaire du fonctionnement de ce nouvel appareil et des résultats qu'il permet d'obtenir. Le Dr Cosslett indique en outre les limitations présentes et les développements futurs vraisemblables de la méthode.

Le livre se divise en sept chapitres dont les titres servent d'indication du contenu. Commençant par l'œil et le microscope (optique), l'auteur introduit ensuite le microscope et les lentilles électroniques. Les types magnétique et électrostatique de l'instrument sont étudiés dans deux chapitres différents et mention est faite des modèles moins orthodoxes de microscopes dans lesquels l'objet est examiné par une sonde électronique. La technique de préparation des spécimens occupe un chapitre et l'ouvrage conclut sur les possibilités de développement futur.

Il y a une courte bibliographie et un index pratique. G. D. PRESTON

PLANS ALLEMANDS D'ÉNERGIE ATOMIQUE

Alsos — The Search for the German Atom Bomb, *par Samuel A. Goudsmit. Pp. xiv + 259. Sigma Books Limited, Londres.* 1948. *15s. net.*

Le Dr Goudsmit a écrit là un exposé intéressant des enquêtes menées sur les recherches atomiques allemandes pendant la guerre par la mission spéciale l'*American Alsos Mission* dont il était le principal savant.

Les reproductions ou traductions des documents allemands illustrent la façon étonnamment débile dont l'effort scientifique allemand, à part les travaux entrepris sous l'égide de l'aviation et de la marine, était organisé. C'est là un fait surprenant quand on pense à la réputation d'organisateurs qu'ont les Allemands, mais le Dr Goudsmit expose clairement les raisons de ce point faible et en tire certaines conclusions qui pourraient bien servir d'avertissement en ce qui concerne les Etats-Unis.

En un mot, les causes principales de la désagrégation de l'Allemagne nazie furent la multiplication fatale des efforts due à un manque de co-ordination entre des intérêts rivaux; le choix motivé des chefs de projets d'études en raison de leurs mérites politiques et non scientifiques; et l'opinion présomptueuse des Allemands selon laquelle l'état de leurs connaissances scientifiques devait automatiquement dépasser celui de tous les autres pays.

Le livre est, cependant, susceptible de donner une idée complètement inexacte de l'état des connaissances alliées sur les plans atomiques allemands avant les recherches faites par le Dr Goudsmit dans le sillage des armées d'invasion.

On en voit la raison au début du chapitre II où l'auteur explique qu'il n'a pas travaillé au projet américain de bombe atomique; il est clair qu'il ne pouvait avoir accès aux rapports sur les activités allemandes préparés pendant la guerre par les services de l'Intelligence britannique et américaine. Nombreux ont été les témoignages publiés à partir de documents allemands découverts depuis la fin de la guerre tendant à montrer que le service de l'Intelligence britannique était d'une grande activité ainsi que d'une précision remarquable à beaucoup de points de vue. Il serait donc surprenant que notre connaissance d'une section des activités militaires allemandes ait été aussi non-existante que le suggère le Dr Goudsmit. Au contraire, il n'est pas déraisonnable de supposer que les services de l'Intelligence américaine et britannique fournirent pendant la guerre un tableau de l'envergure et de la nature des travaux allemands sur l'atome que les recherches du Dr Goudsmit révélèrent par la suite comme remarquablement exact.

Le Dr Goudsmit semble considérer qu'il était au service de l'Intelligence. Utilisant ce mot dans son sens habituel restreint, cela est inexact. Sa mission couronnée de succès était une mission du C.I.O.S. R. E. SLADE

PROPOS DIVERS

One Two Three . . . Infinity, *par George Gamow. Illustré par l'auteur. Pp. xii + 340. Macmillan and Company Limited, Londres.* 1947. *24s. net.*

Ce titre énigmatique que M le Professeur Gamow a placé en tête de son livre fait entrevoir un nouvel exemple de présentation lucide, éclairée d'un humour typique et fantasque. Nous n'avons rien à regretter, car l'ouvrage est une sorte de pot-pourri où l'on trouve du savoir, de l'esprit et de la sagesse, « le tout assaisonné d'une sauce délicieuse. »

Quels sont les ingrédients divers de ce plat savoureux? La première des quatre sections en lesquelles se divise l'ouvrage est intitulée *En jouant avec les nombres* et traite gaiement de sujets tels que les grands nombres, les nombres premiers et les imaginaires. Nous y rencontrons des amis, anciens et nouveaux, mais toujours avec le même plaisir.

La seconde partie (*Espace, Temps et Einstein*) est un exposé admirablement clair des principes fondamentaux de la relativité moderne. La troisième section (*Microcosme*) replace les théories modernes des problèmes atomiques dans un cadre historique, tout comme le fait la dernière partie (*Macrocosme*), qui traite le problème de l'évolution de notre univers.

Le profane curieux, cet ami difficile mais sympathique, ne trouvera pas ce livre de lecture facile — les nouvelles idées répugnent aux esprits de tradition Newtonienne. Mais qu'il persévère jusqu'à la fin — il en sera amplement récompensé. ALLAN FERGUSON

CORPS MAGNÉTIQUES

Magnetic Materials, *par F. Brailsford. Pp. ix + 156, avec 86 diagrammes. Methuen and Company, Londres.* 1948. *6s. net.*

L'auteur, qui est membre du bureau de recherche de Metropolitan-Vickers et qui a apporté d'importantes contributions au sujet, nous offre dans cette monographie une étude complète, bien que nécessairement brève, de l'état présent des connaissances sur la question. L'ouvrage convient aux étudiants avancés, aux chercheurs et à tous ceux qui ont affaire aux corps magnétiques. Outre une table générale de livres et d'articles servant de résumé, chaque chapitre contient une liste très fournie de références. Faisant suite à l'introduction, une série de chapitres traitent du ferromagnétisme, des cristaux simples, des facteurs affectant les propriétés magnétiques (comprenant le travail à froid, les vibrations et la magnéto-striction) des alliages silico-ferreux, nickel-ferreux et des aimants permanents. Des progrès fantastiques

ont été réalisés sur tous ces points pendant les trente dernières années.

Tout au début, au cours de la discussion d'un aimant permanent à rotation libre, l'auteur prend la donnée niveau d'énergie comme celle qui existe lorsque l'aimant est à angle droit avec le champ, « l'énergie potentielle étant alors zéro», ce qui est évidemment inexact. A la page 7, $\mu_{max.} = 6.000$ semble être une faute d'impression pour 4.000. Un point intéressant expliqué à la page 6: la force magnétique *H* exprimée en oersteds n'est jamais employée; l'auteur utilise toujours la valeur équivalente de l'induction magnétique *B* dans un vide exprimé en gauss mais y réfère comme à *H*. Bien qu'il se rapporte à ses propres travaux sur l'hystérsé is de rotation, il ne fait apparemment aucune allusion ni à Swinburne qui, le premier, suggéra ce phénomène, ni à F. G. Baily, qui fut le premier à lui apporter une confirmation expérimentale.

On peut, cependant, recommander sans réserve cet ouvrage à tous ceux qui s'intéressent à la théorie comme à la fabrication ou aux applications des corps magnétiques. G. W. O. HOWE

LA DÉCOUVERTE DE NEPTUNE

John Couch Adams and the Discovery of Neptune, *par W. M. Smart. Pp.* 56, *avec* 3 *planches. Royal Astronomical Society, Londres.* 1947. 5*s. net.*

Cette monographie a été écrite à l'occasion de la commémoration en 1946 du centenaire de la découverte de Neptune, et M le Professeur Smart lui a emprunté la matière des deux conférences qu'il a prononcées à la cérémonie organisée par la *Royal Astronomical Society*. Il n'existe aucune biographie complète d'Adams; mais toutes ses lettres, ses papiers et ses notes au complet ont été soigneusement conservés et sont passés à son ami intime, Sir Donald MacAlister, à la mort duquel ils échurent au Dr Smart, alors premier *John Couch Adams Astronomer* à l'Université de Cambridge. M le Professeur Smart a utilisé ces papiers personnels dans la préparation de cet exposé complet des circonstances entourant le découverte de Neptune. Les grandes lignes des faits et les violentes controverses qui s'ensuivirent en France et en Angleterre, sont déjà bien connues, mais M le Professeur Smart donne de nombreux détails et extraits de lettres qui n'ont jamais été publiés et qui ne pouvaient être publiés tant qu'il restait un seul des protagonistes en vie. Le seul point de critique dans cet ouvrage qui veut être un compte-rendu historique est un préjugé marqué contre Airy, préjugé qui disparaîtrait peut-être si M Smart se mettait en devoir de lire la correspondance d'Airy de cette période. La monographie se termine par un bref exposé de la carrière d'Adams après la découverte de Neptune.

H. SPENCER JONES

LA PHOTOGRAPHIE EN INFRA-ROUGE

Photography by Infra-red, *par W. Clark. Pp. xvii* + 472. *Chapman and Hall Limited, Londres. Deuxième édition.* 1946. 36*s. net.*

Un intérêt marqué s'est manifesté récemment envers l'application des radiations infra-rouges aux problèmes chimiques surtout entre les limites de longueurs d'ondes 2μ (20.000 Å) à 25μ. Cette région est inaccessible à la photographie directe, mais de grands progrès ont été réalisés dans d'autres méthodes de détection et de mesure. La plupart des nouveaux détecteurs peuvent être utilisés avec avantage dans l'échelle photographique 0,7–1,2 μ et pour certains problèmes de recherche et certaines applications, ils seront maintenant préférés. Pour une grande variété de mesures, à la fois théoriques et pratiques, la photographie restera cependant nécessaire et préférable. Ce livre, d'un membre du personnel de la Compagnie Eastman Kodak, fournit un excellent exposé de la théorie et de la pratique et recèle de plus un trésor d'informations sur ce sujet. Il y a un exposé clair des principes de la sensibilisation, de la théorie photographique fondamentale, de l'arrière-plan physique et chimique ainsi que de nombreux conseils techniques utiles aux non-initiés. Les applications typiques sont décrites et illustrées dans de nombreux domaines tels que l'art, la papyrologie, la criminologie, la médecine, la botanique et la paléontologie, le travail d'observation aérienne et le camouflage, la spectroscopie et l'astronomie. Certains points particuliers tels que les sources de radiation et les filtres sont étudiés en détail. Quelques répétitions dans diverses parties du livre ne diminuent pas sa valeur. L'auteur fait une référence juste et bien à propos aux travaux trop oubliés de R. W. Wood dans ce domaine. Un livre utile.

H. W. THOMPSON

TABLES DE SOLUBILITÉS

Solubilities of Inorganic and Metal Organic Compounds (*Vol. I*) *and* Solubilities of Organic Compounds (*Vol. II*), *par Atherton Seidell. Pp.* 1698 (*Vol. I*) *et* 926 (*Vol. II*). *Macmillan and Company Limited, Londres* (*pour D. Van Nostrand, New York*). *Troisième édition.* 1947. 85*s. net* (*Vol. I*) *et* 75*s. net* (*Vol. II*).

La dernière édition complètement revue de cet ouvrage de référence bien connu a paru en 1919 et un volume supplémentaire a paru en 1928. Depuis cette date un grand nombre de connaissances nouvelles ont été mises à jour, et la publication de cette troisième édition entièrement revue est donc un évènement d'importance. Le fait qu'elle consiste en deux gros volumes au lieu de l'unique ouvrage précédent, révèle en lui-même la quantité de nouveaux matériaux qu'il a fallu y inclure.

La disposition des données a été améliorée. En particulier, un système purement chimique, basé sur les symboles chimiques des éléments remplace l'arrangement précédent basé sur les noms anglais des composés. Ceci augmentera considérablement la valeur de l'ouvrage pour ceux qui ne disposent que d'une connaissance limitée de l'anglais.

Mais alors que la quantité de documentation offerte a été accrue et les références rendues plus accessibles, cette édition est, du point de vue typographique, inférieure aux précédentes. La raison en est que, l'ouvrage étant devenu si important, l'impression par les méthodes ordinaires aurait rendu son prix prohibitif. Le tirage en offset de copies microfilm de documents originaux a donc dû être utilisé, si bien que le texte est indistinct par endroits mais nulle part illisible. Ce défaut qui serait intolérable dans un livre fait pour être lu d'un bout à l'autre, ne nuit pas sérieusement à la valeur d'un ouvrage tel que celui-ci dont quelques courts passages seulement sont nécessaires à la fois. Ce procédé d'impression a au moins un avantage, qui est considérable dans un livre consistant surtout en longues tables numériques, c'est que le risque d'erreurs dans la copie se trouve fortement diminué.